



Varkens

PraktijkRapport Varkens 42

Mestvergisting op boerderijschaal



November 2005





Colofon

Uitgever

Animal Sciences Group / Praktijkonderzoek
Postbus 65, 8200 AB Lelystad
Telefoon 0320 - 238238
Fax 0320 - 238050
E-mail info.po.asg@wur.nl
Internet <http://www.asg.wur.nl/po>

Redactie en fotografie

Divisie Veehouderij

© Animal Sciences Group

Het is verboden zonder schriftelijke toestemming van de uitgever deze uitgave of delen van deze uitgave te kopiëren, te vermenigvuldigen, digitaal om te zetten of op een andere wijze beschikbaar te stellen.

Aansprakelijkheid

Animal Sciences Group aanvaardt geen aansprakelijkheid voor eventuele schade voortvloeiend uit het gebruik van de resultaten van dit onderzoek of de toepassing van de adviezen

Bestellen

ISSN 1570 - 8608
Eerste druk 2005
Prijs € 17,50

Losse nummers zijn schriftelijk, per E-mail of via de website te bestellen bij de uitgever.

Abstract

Digestion of manure leads to the formation of biogas which can be transformed into electricity and heat by a cogeneration plant. This leads to a reduction of emissions of methane from manure and emissions of greenhouse gasses from non-sustainable sources. Research has been done into two digestion installation for manure at the experimental farms Sterksel and Nij Bosma Zathe. Both installations were also used for demonstration purposes. This report gives an overview of the results of both installations during the research period. The carried out TEWI-calculations showed that anaerobic digestion of cow and pig manure has a reduction potential of more than 50% in greenhouse gasses. But for a profitable anaerobic digestion installation farms need to have a size that is above average. Also specific characteristics of farms are of influence on the economic evaluation of anaerobic digestion.

Key words: manure, anaerobic digestion, biogas, greenhouse gasses, sustainable energy

Referaat

ISSN 1570 – 8608

Timmerman, M., H.J.C. van Dooren en G. Biewenga (ASG, divisie Veehouderij). Mestvergisting op boerderijschaal (2005). PraktijkRapport Varkens 42, 34 pagina's, 20 figuren, 15 tabellen.

Door vergisting van mest wordt biogas gevormd waaruit via een warmtekrachtkoppeling duurzame elektriciteit en warmte wordt geproduceerd. Hierdoor vindt een reductie plaats in emissie van methaan uit mest en wordt emissie van broeikasgassen uit niet-duurzame energiebronnen voorkomen. Op Praktijkcentra Sterkel en Nij Bosma Zathe is onderzoek gedaan aan twee installaties voor mestvergisting. Beide installaties dienden ook als demonstratie voor praktijkbedrijven. Dit rapport geeft een overzicht van de resultaten van de installaties gedurende de onderzoeksperiode. In de uitgevoerde TEWI-berekeningen blijkt vergisting van varkens- en rundveedrijfmest een reductie potentieel in broeikasgasemissie te hebben wat boven de 50% ligt. Maar voor een rendabele mestvergistinginstallatie moeten bedrijven een omvang hebben die boven gemiddeld ligt. Hierbij zijn bedrijfsspecifieke kenmerken ook van invloed op de economische evaluatie van een mestvergistinginstallatie.

Trefwoorden: mest, vergisting, biogas



PraktijkRapport Varkens 42

Mestvergisting op boerderijschaal

Manure digestion on the farm

Aan dit project is in het kader van het Besluit Milieusubsidies, Subsidieregeling Milieugerichte Technologie een subsidie verleend uit het programma Reductie Overige Broeikasgassen, gefinancierd door het Ministerie van Volkshuisvesting, Ruimtelijke Ordening en Milieubeheer. Novem beheert deze regeling.

Projectnummer Novem: 0375-00-00-02-0002

M. Timmerman
H.J.C. van Dooren
G. Biewenga

November 2005

Samenvatting

Bacteriën breken bij vergisting organische stof af waaruit biogas wordt gevormd. Hoofdbestanddelen daarvan zijn methaan (CH_4) en koolstofdioxide (CO_2). Door dit biogas te verbranden in een warmtekrachtkoppelinginstallatie (WKK) worden elektriciteit en warmte geproduceerd. Een mestvergistinginstallatie voorkomt op deze manier de emissie van methaan naar de atmosfeer uit mestopslagen in stallen. Naast de reductie in methaanemissie vindt er eveneens een reductie in CO_2 -emissie plaats doordat men minder gebruik maakt van fossiele brandstoffen (gas, steenkool) voor de opwekking van warmte en elektriciteit. De doelstelling van het project was het (her)introduceren van mestvergisting op boerderijschaal als maatregel om de emissie van broeikasgassen te verminderen.

Op de praktijkcentra Sterksel en Nij Bosma Zathe zijn van de aanwezige biogasinstallaties gegevens verzameld over functioneren van de mestvergistinginstallatie op deze bedrijven en de behaalde reductie in broeikasgasemissies. Praktijkcentrum Sterksel is een varkensproefbedrijf met 300 zeugen en 2400 vleesvarkens waar de geproduceerde mest wordt vergist in een volledig geroerde mestvergistinginstallatie. De vergister heeft een bruto inhoud van 615 m^3 die gemixt wordt door een dompelmixer van 11 kW. Het biogas wordt verbrand in een WKK met een elektrisch vermogen van 37 kW en een thermisch vermogen van 62 kW. Praktijkcentrum Nij Bosma Zathe is een melkveeproefbedrijf met 130 melkkoeien waar de geproduceerde mest wordt vergist in een propstroomvergister. De vergister heeft een inhoud van 80 m^3 , die gemixt wordt door een schoepenroerwerk. De WKK is een Zündstrahlmotor waarin het biogas met circa 10% diesel wordt verbrand. Het elektrisch vermogen van de installatie bedraagt 37 kW. Bij beide bedrijven wordt de teruggewonnen warmte van de WKK gebruikt voor verwarming van de vergister, stallen en bedrijfsruimten.

Op Sterksel is alleen mestvergisting toegepast, terwijl op Nij Bosma Zathe eigen geteelde mais met mest is covergist. Zoals verwacht veranderde de samenstelling van mest door vergisting. De reductie in organische stof in de mest op Praktijkcentrum Sterksel was 38% en op Praktijkcentrum Nij Bosma Zathe 58%. Op beide praktijkcentra steeg het aandeel minerale stikstof in de mest met 3 tot 6% en steeg de pH-waarde van de mest. Op Sterksel was het gemiddelde methaangehalte in het biogas 56% en werd uit de varkensmest gemiddeld $0,36 \text{ m}^3$ biogas per kilogram organische stof geproduceerd. Op Nij Bosma Zathe was het gemiddelde methaangehalte in het biogas 54% en werd uit het mengsel van mest en mais gemiddeld $0,59 \text{ m}^3$ biogas per kilogram organische stof geproduceerd. Door toevoeging van mais is de biogasproductie op Nij Bosma Zathe flink gestimuleerd. De concentratie aan koolstofdioxide in het biogas lag op Sterksel op 43% en op Nij Bosma Zathe op 34%. Op beide bedrijven was de concentratie aan ammoniak in biogas laag. Daarentegen lag de concentratie aan H_2S verschillende keren boven de 500 ppm, waardoor er sprake was van een mindere kwaliteit gas voor verbranding in de WKK. Het elektrisch rendement van de WKK bedroeg op Sterksel gemiddeld 30% en op Nij Bosma Zathe gemiddeld 31%. Door aanwezigheid van andere duurzame energiebronnen op Sterksel, zoals een warmtepomp en een zonneboiler, is een zeer beperkt deel van de door de WKK geproduceerde warmte gebruikt voor verwarming van de stallen. Op Nij Bosma Zathe kon men ook maar een beperkt deel van de geproduceerde warmte nuttig in het bedrijf wenden. Op vastgestelde tijdstippen vonden onderhoudsbeurten aan de WKK plaats. Ook waren er geregeld storingen die opgelost moesten worden.

De bijdrage van mestvergisting aan de terugdringing van de emissie van broeikasgassen kunnen we onderverdelen in een directe en een indirecte bijdrage. De directe bijdrage bestaat uit de vermeden methaanemissie uit de mest, omdat het geproduceerde methaan wordt verbrand in een WKK. Weliswaar komt hier koolstofdioxide bij vrij, maar omdat methaan een 21 keer schadelijker broeikasgas is als koolstofdioxide daalt de netto emissie. De indirecte bijdrage wordt gevormd door vermeden emissie van koolstofdioxide elders. Door de opgewekte duurzame elektriciteit voorkomt men dat elektriciteit uit niet-duurzame bronnen wordt geproduceerd. Ondanks een paar tegenslagen blijkt uit de resultaten op de praktijkcentra Sterksel en Nij Bosma Zathe dat mestvergisting een wezenlijke bijdrage kan leveren aan de directe reductie van methaanemissie uit mest en indirecte reductie van broeikasgassen door vermindering van elektriciteit uit niet-duurzame bronnen. Voor de berekening van de emissiereductie van mestvergisting is gebruik gemaakt van de TEWI-methodiek. Het emissie-reductie potentieel is berekend door de situatie met mestvergisting te vergelijken met de situatie zonder mestvergisting. Uit de uitgevoerde TEWI-berekening voor vergisting van varkensmest blijkt dat het emissie-reductie-potentieel in broeikasgasemissies op ruim 50% ligt ten opzichte van de referentiesituatie. Voor vergisting van rundveedrijfmest is dit op ruim 60%.

Sinds 1 juli 2003 is de regeling Milieukwaliteit Elektriciteit Productie (MEP) van kracht: een subsidie voor duurzame opgewekte elektriciteit. Deze subsidie dient om de onrendabele top van installaties voor opwekking van duurzame elektriciteit te dekken. Voor een mestvergistinginstallatie bedraagt deze subsidie naar verwachting € 0,097 per kWh gedurende een periode van maximaal 10 jaar. In de uitgevoerde economische berekeningen van een mestvergistinginstallatie voor een varkensbedrijf en melkveebedrijf is van deze MEP-subsidie uitgegaan. Het berekende saldo van een mestvergistinginstallatie op een gesloten varkensbedrijf met 300 zeugen en 2400 vleesvarkens bedroeg € 3.760,- incl. EIA-subsidie en heeft een terugverdiendtijd van 9,7 jaar. Maar wanneer men geen gebruik maakt van de EIA-subsidie, vervalt het positieve saldo bijna geheel en loopt de terugverdiendtijd op tot boven de 11 jaar. Het berekende saldo van een mestvergistinginstallatie op een melkveebedrijf met 130 melkkoeien bedroeg € -10.750,- incl. EIA-subsidie met een terugverdiendtijd van 25,3 jaar. Een mestvergistinginstallatie is dus voor een melkveebedrijf van deze omvang niet rendabel. Het rendement van een mestvergistinginstallatie kan verbeteren door covergisting. Daarnaast spelen ook bedrijfsspecifieke kenmerken een rol in de rendabiliteit van een mestvergistinginstallatie. Zo wordt ook MEP-subsidie verkregen over de opgewekte elektriciteit die men in het eigen bedrijf verbruikt. Dit levert het meeste op, omdat de besparing op inkoop van elektriciteit hoger is dan de terugleververgoeding die men kan krijgen voor de aan het net geleverde elektriciteit. Het economisch rendement van een mestvergistinginstallatie hangt dus sterk samen met de bedrijfsgrootte (mestproductie) en met het eigen elektriciteitsverbruik. Hoe hoger de mestproductie en het eigen elektriciteitsverbruik, hoe sneller een mestvergistinginstallatie uit kan op een bedrijf. Duidelijk is wel dat bedrijven een omvang moeten hebben dat boven gemiddeld ligt om een mestvergistinginstallatie rendabel te krijgen.

Bij de bouw van een vergistinginstallatie moet men goed rekening houden met een aantal zaken om tot een goed resultaat te kunnen komen. Van belang zijn o.a. een goede mestinfrastructuur voor een goed en regelmatige toevoer van de mest naar vergistinginstallatie, voorkoming van bevriezing van leidingen en een kleine afstand van de WKK tot de CV-ketel met stooklijn. Punt van aandacht is ook de aansluiting van de WKK op het elektriciteitsnet wat bij een ongunstige plek van het bedrijf tot een aanzienlijke kostenpost kan leiden.

Summary

Bacteria in a digestion process decompose organic matter, forming biogas. The main components of biogas are methane (CH_4) and carbon dioxide (CO_2). This biogas is burned in a combined heat and power generation (WKK) unit to generate electric power and heat. Thanks to this process a manure digestion plant prevents the emission of methane into the atmosphere originating from manure present in livestock houses. And not only are methane emissions reduced, also CO_2 emissions are reduced because less fossil fuels (gas, coal) are used to generate heat and electricity. The aim of the project was to (re)introduce manure digestion on farms in order to reduce greenhouse gas emissions.

Performance data have been collected from the biogas units at the Sterksel and Nij Bosma Zathe Practice Centres regarding the on-farm manure digestion plants and the greenhouse gas emission reductions achieved. Sterksel Practice Centre is an experimental farm for pig husbandry with 300 sows and 2400 fattening pigs where the slurry is digested in a fully stirred manure digestion plant. The digester has a gross content of 615 m^3 which is mixed by means of an 11-kW submerged mixer. The biogas is burned in a combined heat and power unit which has an electric capacity of 37 kW and a thermal capacity of 62 kW.

Nij Bosma Zathe Practice Centre is a dairy farm with 130 dairy cows, where the manure produced is treated in a plug-flow digester. The digester has a content of 80 m^3 , which is mixed by means of a blade impeller. The WKK unit is a pilot injection gas engine in which the biogas is burned with a 10% diesel oil supplement. The electric capacity of the unit is 37 kW. Both farms utilize the reclaimed heat from the WKK unit to heat the digester, the livestock houses and other farm buildings.

On the Sterksel farm, only manure digestion is applied, whereas the Nij Bosma Zathe farm applies co-digestion of manure with farm-grown maize. As expected, digestion changes the composition of manure. The reduction in organic matter in manure at Sterksel was 38% whereas at Nij Bosma Zathe this was 58%. Both farms revealed a 3 to 6-% increase in mineral nitrogen in manure, whereas the pH value of manure increased. At Sterksel the average methane content in biogas was 56%, while the production of biogas out of pig slurry averaged 0.36 m^3 per kg of organic matter. At Nij Bosma Zathe the average methane content in biogas was 54% while the production of biogas out of the slurry and maize mixture averaged 0.59 m^3 per kg of organic matter. Adding maize brought about a considerable increase in biogas yield at Nij Bosma Zathe.

The carbon dioxide concentration in biogas at Sterksel was 43%, and at Nij Bosma Zathe it was 34%. On both farms the ammonia concentration in biogas was low. On the other hand, it was found several times that the H_2S concentration was higher than 500 ppm, which rendered a poorer quality of gas to be burned in the WKK system. The electric efficiency of the WKK unit at Sterksel averaged 30%, whereas at Nij Bosma Zathe this was 31%. Because the Sterksel farm has several other sources of renewable energy, including a heat pump and a solar water heater, only a very limited part of heat produced by the WKK system is used for heating the livestock houses. Also at Nij Bosma Zathe only a limited part of heat produced could be made use of on the farm. At fixed intervals maintenance was applied to the WKK units. Occasionally there were malfunctions which had to be solved.

The contribution of manure digestion to the reduction of greenhouse gas emissions can be subdivided into direct and indirect contributions. Direct contributions are the avoided methane emission from manure, as the methane produced is burned in a WKK unit. Carbon dioxide is emitted from this process, indeed, but the net emission is lower, as methane is a 21 times more harmful greenhouse gas than carbon dioxide. The indirect contributions are carbon dioxide emissions from other sources that are avoided. The generation of electricity from renewable sources prevents the generation of electricity from non-renewable sources. Despite a few setbacks, the results of Sterksel and Nij Bosma Zathe indicate that manure digestion can provide a substantial contribution to the direct reduction of methane emissions from manure and to the indirect reduction of greenhouse gas emissions by reducing the generation of electric power from non-renewable sources. The TEWI methodology (TEWI = 'total equivalent warming impact') was used to calculate the emission reduction due to manure digestion. The emission reduction potential is calculated by comparing the situation with manure digestion with the situation without manure digestion. The calculated TEWI of digesting pig slurry indicates that the reduction potential for greenhouse gas emissions is more than 50%, compared with the reference situation. For the digestion of cattle manure this is more than 60%.

Since 1st July 2003 the Environmental Quality Electricity Production (MEP) programme is in force with subsidies for renewable electricity generated. Such subsidies are intended as a compensation for the uneconomic top of plants for the generation of renewable electricity. For a manure digestion plant it is expected to amount to € 0.097 per kWh for a period of at most 10 years.

In the economic calculations for a manure digestion plant for a pig farm and a dairy farm these subsidies have been taken into consideration. The calculated balance of a manure digestion plant on a closed pig farm with 300 sows and 2400 fattening pigs amounted to € 3,760 including a subsidy based on the energy investment allowance scheme (EIA), with a 9.7-year payback period. If the EIA subsidy is ignored, however, the balance is hardly positive, with the payback period extending to more than 11 years. The calculated balance of a manure digestion plant of a dairy farm with 130 dairy cows amounted to € -10,750 including the EIA subsidy with a payback period of 25.3 years. Consequently, a manure digestion plant for a dairy farm of this size is not economic.

The economic results of a manure digestion plant can be raised by co-digestion. In addition, also farm-specific elements will play a role in the efficiency of a manure digestion plant. For instance, the MEP subsidy is also granted for the share of electric power generated that is utilized on the farm itself. This is the most profitable, as the savings on the purchase of electricity is higher than the reward that can be obtained when surplus electric energy is supplied to the net. Consequently, the economic results of a manure digestion plant is strongly correlated with farm size (manure production) and on-farm electric power consumption. The more manure is produced and the more electricity is utilized on the farm, the quicker a farm-owned manure digestion plant will pay back. It is evident that farm sizes should be above average to make manure digestion economic.

At the construction stage of a digestion plant several aspects have to be considered to be able to achieve good results. Major aspects include a good and orderly slurry supply infrastructure towards the digestion plant, the prevention of frost in ducts and a limited distance from the WKK unit to the central heating system with heating line. Attention shall also be paid to the connection of the WKK unit to the electricity grid, which may imply considerable expenses.

Inhoudsopgave

Voorwoord

Samenvatting

Summary

1	Inleiding	1
2	Mestvergistinginstallatie	2
3	Meetresultaten	4
3.1	Samenstelling en hoeveelheid toegevoerde mest	4
3.2	Samenstelling en geproduceerde hoeveelheid biogas	6
3.3	Elektriciteitsproductie en -verbruik	11
3.4	Warmteproductie en -verbruik	15
3.5	Arbeid, onderhoud en reparaties	18
4	Reductie broeikasgassen	20
5	Economische evaluatie	23
6	Discussie	27
7	Conclusies en aanbevelingen	29
	Bijlagen	30
	Bijlage 1 Demonstratie- en kennisoverdrachtactiviteiten en publicaties	30
	Bijlage 2 Geïnstalleerde meetapparatuur ten behoeve van het project	31
	Bijlage 3 Uitgangpunten en uitkomsten TEWI-berekeningen voor Nij Bosma Zathe	32
	Bijlage 4 Uitgangpunten en uitkomsten TEWI-berekeningen voor Sterksel	33
	Literatuur	34

1 Inleiding

Mestvergisting

Vergisting is een proces waarbij bacteriën organische stof afbreken. Hierbij wordt biogas gevormd met als hoofdbestanddelen methaan (CH_4) en koolstofdioxide (CO_2). Dit proces treedt spontaan op tijdens de opslag van dierlijke mest en gaat verder wanneer de mest op het land is gebracht. Het methaan dat hierbij ontstaat is een zeer schadelijk broeikasgas (21 maal zo schadelijk als CO_2). Wanneer het vergistingsproces onder geconditioneerde omstandigheden plaatsvindt, wordt een groot deel van het organisch materiaal in de mest omgezet naar methaan. Het gevormde methaan kan vervolgens opgevangen en verbrand worden in een warmtekrachtkoppelinginstallatie (WKK). In een biogasinstallatie wordt emissie van methaan naar de atmosfeer dus voorkomen. Tegelijkertijd wordt een grote hoeveelheid warmte en elektriciteit geproduceerd. De opgewekte warmte en elektriciteit kan men op het eigen bedrijf gebruiken. De opgewekte elektriciteit kan men ook aan het openbare net leveren. Aangezien er sprake is van duurzame energiewinning wordt deze elektriciteit aangemerkt als duurzame of groene elektriciteit.

Behalve dat de emissie van methaan sterk wordt teruggedrongen, wordt er eveneens veel minder CO_2 (een ander belangrijk broeikasgas) uitgestoten. Doordat warmte en elektriciteit wordt geproduceerd uit plantaardig vastgelegde koolstof (de onverteerde plantaardige voedselresten in de mest), is er op het bedrijf namelijk minder of geen behoefte aan energie die is opgewekt door verbranding van fossiele brandstoffen (aardgas, steenkool). Daarnaast sluit vergisting aan bij het streven om steeds meer gebruik te gaan maken van duurzame energie. Naast zonne-energie en windenergie, is de opwekking van energie uit mest (biomassa) een manier om op een verantwoorde en duurzame wijze energie te produceren zonder dat voorraden fossiele brandstoffen worden uitgeput of nuttige stoffen verloren gaan.

Achtergrond onderzoek

In de jaren '70 en '80 is onderzoek uitgevoerd naar vergisting van mest. De reden hiervoor was allereerst de verwachting dat men hierdoor de optredende geurhinder uit de mestopslag kon verminderen. Later kwam hierbij de mogelijkheid om door vergisting energie te winnen, ingegeven door de hoge energieprijzen op dat moment. De technische prestaties van de installaties bleven achter bij de verwachtingen en tegelijkertijd daalden de energieprijzen. Dit heeft er destijds toe geleid in Nederland vergisting van mest te staken. In een aantal andere Europese landen (Duitsland, Denemarken) is de ontwikkeling van mestvergisting echter doorgegaan. Dit heeft geleid tot een aantal technische verbeteringen en veranderde procesparameters, waardoor met de huidige commerciële biogasinstallaties een hogere biogasopbrengst wordt bereikt en een stabiele en veilige procesvoering wordt verkregen. In Nederland past men vergisting van mest echter (nog) nauwelijks toe. Gezien de hierboven beschreven voordelen lijkt een herintroductie van mestvergisting voor de specifiek Nederlandse situatie gewenst.

Doelstelling

De doelstelling is het (her)introduceren van mestvergisting op boerderijschaal als maatregel om de emissie van broeikasgassen te verminderen. De doelstelling bestaat uit vier subdoelen:

1. Het in kaart brengen van het gas- en elektriciteitsverbruik van het bedrijf en de productie van gas en elektriciteit van de biogasinstallatie.
2. Het verzamelen van technische en economische kengetallen voor een economische evaluatie van mestvergisting als bedrijfssysteem.
3. Het verzamelen van procesmatige gegevens van het vergistingsproces.
4. Het demonstreren en uitdragen van de onderzoeksresultaten van mestvergisting naar de veehouderijsector en het beleid.

2 Mestvergistinginstallatie

Volledig geroerde vergister op Praktijkcentrum Sterksel

Praktijkcentrum Sterksel is een varkensbedrijf met 300 zeugen en 2400 vleesvarkens. Het praktijkcentrum is in 1968 opgericht en is zowel nationaal als internationaal uitgegroeid tot een begrip in de varkenshouderij. Het Praktijkcentrum is gevestigd onder Eindhoven. Het gehele bedrijf voldoet aan de laatste welzijns- (Varkensbesluit '98), keten- (IKB) en milieueisen (AmvB huisvesting). In de tweede helft van 2001 is een mestvergistingsinstallatie op het bedrijf gebouwd. Eind 2001 is begonnen met het vullen van de vergistingstank met mest en de start van het biologisch proces. Begin 2002 is het eerste gas in de gasmotor verbrand.

De mesofiele mestvergistingsinstallatie is gebouwd door Ecogas International B.V. voor de vergisting van circa 4.560 m³ mest per jaar. Alle varkenstallen op het bedrijf zijn voorzien van een rioleringsstelsel met afvoer naar één centrale opvangput van waaruit de mest naar de vergister wordt gepompt. Via het rioleringsstelsel wordt regelmatig mest afgelaten, waardoor relatief verse mest in de vergister terecht komt. Tegelijkertijd zorgt het rioleringsstelsel voor lage methaanemissies uit de stallen. De mest uit de vergister wordt naar een mestzak gepompt. Vanuit deze mestzak wordt de vergiste mest van het bedrijf afgevoerd.

De mestvergistingsinstallatie bestaat uit een vergistingssilo en een warmtekrachtkoppeling installatie (WKK). De vergister heeft een bruto inhoud van 615 m³ (h=4,20 m en d = 13,65 m). De wand van de silo is aan de binnenzijde geïsoleerd en afgewerkt met een mestbestendige coating. Een 48 kW interne, van een speciaal kunststof coating voorziene, metalen warmtewisselaar houdt de vergister op temperatuur. De mest in de vergister wordt gemixt met een 11 kW dompelmixer. Een tijdschakelaar schakelt de mixer meerdere keren per dag in en uit. Het gevormde biogas wordt onder een kunststof drijfzeil, die op het mestniveau drijft, opgevangen (circa 100 m³ biogas). De vergister is voorzien van niveau-indicatoren voor het mest- en gasniveau. Het gevormde biogas wordt via een gasleiding met condensput naar de WKK geleid. Doordat de gasleiding in de grond ligt wordt het opgevangen biogas ontwaterd door condensatie in de gasleiding. Ter voorkoming van methaanophoping tussen het drijfzeil en de silokap is een geautomatiseerd ventilatiesysteem aangebracht. In deze ruimte tussen het drijfzeil en het silodak is een methaanmelder bevestigd die het ventilatiesysteem automatisch inschakelt als de methaanconcentratie boven de grenswaarde van 4 volume-% komt. Het gevormde biogas wordt op biologische wijze ontdaan van zwavelwaterstof (H₂S) door het toevoegen van een kleine hoeveelheid buitenlucht, waardoor het zwavelwaterstof een reactie aangaat met zuurstof en neerslaat als zwavel op de mest.

Het biogas wordt verbrand in een asynchrone WKK, opgesteld in een geluidswerende container. De WKK bestaat uit een gasmotor en een generator. De gasmotor is een 4-cilinder MAN gasmotor met een gasverbruik van circa 20 m³ per uur (afhankelijk van het methaangehalte). De WKK heeft een asvermogen van 47 kW, een elektrisch vermogen van 37 kW_e, warmterugwinning via het koelwater van het motorblok van 39 kW_{th} en via rookgascooling van 23 kW_{th}. Een platenwisselaar draagt de warmte over naar het verwarmingcircuit van de vergister of naar de stallen. Het eventuele overschot wordt vernietigd in een noodkoeler. De gasmotor start automatisch op vastgestelde tijdstippen, na een vaste ingestelde wachtperiode of als de gasdruk in de gaszak een bepaalde waarde overschrijdt. Voor dit laatste zit in de gasleiding in de container een gasdrukmeter die men op een bepaalde waarde kan instellen. In de gasleiding naar de gasmotor zit een methaanmeter en een elektronische gasdoorstroommeter. De WKK is verder uitgerust met een digitale kW-meter, ampèremeter en thermostaatinstallatie voor meting en regeling van temperatuur in de vergistingstank. In de gastoevoerleiding naar de WKK zit een gasmonsterpunt, waar gasmonsters genomen worden om het gehalte aan CO₂, NH₃ en H₂S te bepalen.

Propstroomvergister op Praktijkcentrum Nij Bosma Zathe

Nij Bosma Zathe is het praktijkcentrum voor de noordelijke melkveehouderij in Nederland. Het bedrijf is op deze locatie sinds 1999 in bedrijf, daarvoor in Selmen, vlak bij Drachten, waar in de jaren tachtig ook ervaring is opgedaan met mestvergisting. Het bedrijf heeft gemiddeld 130 stuks melkvee en bijbehorend jongvee en 100 hectare zware kleigrond ter beschikking. Bij de bouw van het bedrijf is een mesofiele mestvergistinginstallatie van het propstroomtype geïnstalleerd door Biogas Nederland B.V. De installatie bestaat uit een horizontaal geplaatste ronde tank met een diameter van ongeveer 5 meter en een inhoud van 80 m³. In de lengterichting van de tank is een roerwerk aangebracht met schoepen die de inhoud van de vergister mengen. Door dit roerwerk loopt ook warm water om de inhoud van de vergister op temperatuur te houden. Aan de ene kant van de tank wordt regelmatig een bepaalde hoeveelheid mest ingepompt. Tegelijkertijd stroomt daardoor aan de andere kant van de tank een zelfde hoeveelheid mest uit de tank. Elke hoeveelheid mest verplaatst zich dus als een soort prop van de ene kant van de tank naar de andere kant. De snelheid waarmee de mest zich verplaatst, en dus de verblijftijd van de mest, hangt af van de hoeveelheid mest die men per dag in de tank pompt.

Tijdens de verblijftijd van de mest in de tank vindt het vergistingsproces plaats waarbij de verschillende fasen in het proces in principe in verschillende delen van de tank plaatsvinden. De methaanvorming is de laatste stap in de afbraak van de organische stof en vindt aan het eind van de tank plaats. Daar wordt het gas opgevangen en naar een gaszak geleid voor opslag. Nadat de mest de tank heeft verlaten wordt het tijdelijk opgeslagen in de navergister. Dit is een betonnen kelder waar de mest afkoelt naar omgevingstemperatuur. Ook hier wordt gas opgevangen en naar de gaszak geleid. De navergister is gasdicht uitgevoerd om lekkage van biogas te voorkomen. In de navergister brengt men ook een kleine hoeveelheid lucht om het biogas te reinigen van zwavelwaterstof (H_2S). De zuurstof in deze lucht reageert met het zwavelwaterstof waarbij zwavel gevormd wordt. Deze slaat neer in de vergiste mest. Hierdoor daalt de concentratie, van het voor de motor schadelijke, corrosieve, zwavelwaterstof en komt de zwavel na bemesting ten goede aan gewassen.

Naast de navergister bevindt zich een andere kelder, de voormengput. Vanuit de melkveestal wordt wekelijks de voormengput gevuld met mest. In deze put bevindt zich ook een mixer zodat het mogelijk is om andere organische materialen met de mest te mengen. Het mengsel wordt met een versnijdende pomp van hieruit naar de vergister gepompt. De hoeveelheid meet men met een doorstroommeter. Het gas wordt vanuit de gaszak naar de warmtekrachtkoppeling (WKK) geleid. In deze leiding wordt de gashoeveelheid en het methaangehalte gemeten en is via monsterpunten een mogelijkheid om gasmonsters af te tappen voor verder analyse. Van dit monsterpunt maakt men gebruik door regelmatig gasmonsters te nemen en met behulp van gasbuisjes het gehalte aan CO_2 , CH_4 , NH_3 en H_2S te bepalen. Het voordeel van een propstroomvergister ten opzichte van een volledig gemengde vergister is dat in de propstroomvergister de verschillende fasen van het vergistingsproces op verschillende plekken in de vergister plaatsvindt waardoor er omstandigheden gaan heersen die specifiek zijn voor die fase. Het proces kan daardoor in principe beter verlopen waardoor de gasopbrengst per kg ingevoerd materiaal hoger kan zijn. Ten opzichte van de volledig gemengde vergister zijn de investeringen van een propstroomvergister bij grotere installaties echter vaak ook hoger.

De WKK op Nij Bosma Zathe is van het Zündstrahl type. Bij dit type motoren wordt naast het biogas een kleine hoeveelheid diesel mee verbrand. Dit heeft als voordeel dat de levensduur verlengd wordt omdat de diesel ook als smeermiddel werkt. Ook is het op deze manier beter mogelijk om variaties in de gaskwaliteit, met name het methaangehalte, op te vangen. Als het methaangehalte daalt, mengt men meer diesel bij om het ingestelde elektrische vermogen te realiseren. Het ingestelde vermogen en het aandeel diesel wordt vastgelegd. De WKK heeft een elektrisch vermogen van 37 kW. De hoeveelheid opgewekte energie meet men met een kWh-meter. Naast de elektriciteit wordt ook warmte opgewekt door de WKK. De warmte is afkomstig van het koelwater en de rookgassen van de motor. Deze warmte gebruikt men in eerste instantie om de mest in de vergister op temperatuur (37°C) te houden. Om warmteverlies zoveel mogelijk te voorkomen is de vergister geïsoleerd. De resterende warmte wordt getransporteerd naar het kantoorgedeelte van Nij Bosma Zathe voor ruimteverwarming.

3 Meetresultaten

Van de biogasinstallaties op de Praktijkcentra Sterksel en Nij Bosma heeft men langere tijd gegevens verzameld over de samenstelling van ingaande en vergiste mest, concentraties aan gassen in het geproduceerde biogas, opgewekte elektriciteit en warmte, energieverbruik, storingsen en reparaties. Deze staan in dit hoofdstuk beschreven. De resultaten van de opstart van de mestvergistingsinstallatie op Praktijkcentrum Sterksel zijn al eerder beschreven door Wagenberg en Timmerman (2003).

3.1 Samenstelling en hoeveelheid toegevoerde mest

Sterksel

Op Praktijkcentrum Sterksel is mest van guste en dragende zeugen, kraamzeugen, biggen, vleesvarkens op brijvoer en vleesvarkens op droogvoer naar de vergister gepompt. Van de ingevoerde mest zijn regelmatig mestmonsters genomen en door Blgg Oosterbeek geanalyseerd op de pH-waarde en de gehalten aan droge stof, organische stof, stikstof (totaal, ammoniak en organisch), fosfaat, kali, magnesium, natrium en koolstof-stikstofquotient. In tabel 1 staat de gemiddelde samenstelling van de ingevoerde mest van de verschillende diercategorieën. Op basis van de waarden en de toegevoerde hoeveelheden mest van elke diercategorie is de gemiddelde samenstelling van de ingaande mest berekend. In tabel 2 staat deze gemiddelde samenstelling van de ingaande onvergiste mest en van uitgaande vergiste mest.

Tabel 1 Gemiddelde samenstelling van de ingevoerde mest van de verschillende diercategorieën op Praktijkcentrum Sterksel

Ingaande mestsoort	DS (g/kg)	OS (g/kg)	N (g/kg)	C/N (-)	N-NH ₃ (g/kg)	N-org (g/kg)	P ₂ O ₅ (g/kg)	K ₂ O (g/kg)	MgO (g/kg)	Na ₂ O (g/kg)	pH (-)
Guste/dragende zeugen (n=13)	50	36	5,24	3	3,3	2,0	3,39	3,8	1,7	1,0	7,4
Kraamzeugen (n=12)	52	39	4,45	4	2,6	1,8	2,84	2,9	1,3	0,8	7,3
Biggen (n=9)	72	54	5,22	5	3,0	2,3	3,28	3,0	1,7	0,9	7,3
Vleesvarkens droogvoer (n=12)	131	106	8,87	5	5,0	3,9	5,74	5,3	2,5	1,0	7,2
Vleesvarkens brijvoer (n=12)	77	60	6,30	4	3,8	2,6	3,21	4,7	1,5	0,7	7,1

Tabel 2 Gemiddelde samenstelling van de ingaande onvergiste en uitgaande vergiste mest op Praktijkcentrum Sterksel

Ingaande mestsoort	DS (g/kg)	OS (g/kg)	N (g/kg)	C/N (-)	N-NH ₃ (g/kg)	N-org (g/kg)	P ₂ O ₅ (g/kg)	K ₂ O (g/kg)	MgO (g/kg)	Na ₂ O (g/kg)	pH (-)
Onvergiste mest	75	58	6,01	4	3,5	2,5	3,59	4,0	1,7	0,9	7,3
Vergiste mest (n=27)	53	36	6,20	3	4,1	2,1	4,65	4,2	2,4	0,8	8,0

Het vergistingsproces zet organische stof om in biogas wat leidt tot een reductie in de gehalten aan organische stof en daarmee ook droge stof. Circa 38% van de organische stof werd afgebroken. Tevens vindt door het vergistingsproces een omzetting plaats van een deel van het organisch gebonden stikstof naar minerale stikstof. Hierdoor neemt het aandeel minerale stikstof in de totale hoeveelheid stikstof toe in de vergiste mest ten opzichte van de onvergiste mest. Bij de onvergiste mest was het aandeel 59%, bij de vergiste mest 66%. De toename van de totale hoeveelheid stikstof is waarschijnlijk te wijten aan monsters uit niet homogene mengsels van vergiste of onvergiste mest. De totale hoeveelheid stikstof wordt door de vergisting in principe niet beïnvloed. In 2003 is dagelijks gemiddeld circa 10,7 m³ varkensmest naar de vergister gepompt met een gemiddelde verblijfstijd van circa 50 dagen in de vergister. Dit komt neer op een dagelijkse toevoer van gemiddeld 617 kilogram organische stof, waardoor de belastingsgraad van de vergister 1,16 kg OS/m³ inhoud per dag bedroeg. De gemiddelde temperatuur van de mest in de vergister was circa 35°C.

Nij Bosma Zathe

Op Praktijkcentrum Nij Bosma Zathe is alleen drijfmest van rundvee beschikbaar voor vergisting. Deze mest is afkomstig van verschillende diergroepen, maar wordt uiteindelijk in een verzamelkelder gepompt. Van daaruit gaat de mest wekelijks naar de voormengput waar het gemengd kan worden met (bedrijfseigen) materiaal voor covergisting. Op Nij Bosma Zathe is vrijwel vanaf het begin snijmais aan de vergister toegevoegd.

Alleen tussen 30 december 2002 en 11 maart 2003 is geen snijmaïs vergist en tussen 7 maart en 17 mei 2004 is natuurgas in plaats van snijmaïs toegevoegd. Tussen 31 oktober en 4 december 2003 zijn monsters genomen van de ingaande en uitgaande stromen en van de inhoud van de vergister op drie tappunten, zie tabel 3.

Tabel 3 Gemiddelde samenstelling van de ingaande onvergiste en uitgaande vergiste mest op Praktijkcentrum Nij Bosma Zathe tussen 31 oktober en 4 december 2003

Monsterpunt	DS (g/kg)	OS (g/kg)	N (g/kg)	N-NH ₃ (g/kg)	N-org (g/kg)	P ₂ O ₅ (g/kg)	K ₂ O (g/kg)	pH (-)
Rundveedrijfmest (RDM)	42	33	2,81	0,97	1,84	1,28	5,40	6,7
Rundveedrijfmest met snijmaïs	58	47	2,76	0,86	1,90	1,31	5,76	6,2
Tap 1	31	21	2,79	1,19	1,59	1,51	6,84	7,7
Tap 2	30	20	2,79	1,16	1,63	1,48	6,17	7,7
Tap 3	31	21	2,78	1,15	1,63	1,44	6,44	7,8
Na vergisting	31	20	3,25	1,22	2,03	1,46	6,72	7,6
Gemiddelde RDM volgens KWIN	86	64	4,4	2,2	2,2	1,6	6,2	

Er is een duidelijke daling van het organisch stofgehalte te zien tussen het onvergiste en vergiste mengsel van rundveedrijfmest en maïs. In het onvergiste mengsel bestond 81% van de droge stof uit organische stof. Na vergisting was dat gedaald naar 64%. Het organische stofgehalte is door de vergisting dus gedaald met 58%. Net als bij varkensmest stijgt het aandeel minerale stikstof in vergiste rundveedrijfmest ten opzicht van de onvergiste rundveedrijfmest. De stijging is echter minder groot. In het onvergiste mengsel was het aandeel minerale stikstof 35% van de totale hoeveelheid stikstof. In het vergiste mengsel is dit aandeel gestegen tot 38%. Het totale stikstofgehalte in de vergiste mest is beduidend hoger dan in het onvergiste ingaande mengsel. Omdat aannemelijk is dat het totale stikstofgehalte niet stijgt door vergisting, is hier waarschijnlijk sprake van een meeton nauwkeurigheid tijdens monsternamen, veroorzaakt door een niet homogeen mengsel van mest en snijmaïs.

De samenstelling van de rundveedrijfmest op Praktijkcentrum Nij Bosma Zathe wijkt af van de gemiddelde waarden voor rundveedrijfmest zoals in de Kwantitatieve Informatie Veehouderij (KWIN-V). Het drogestofgehalte en het organische stofgehalte liggen globaal de helft lager dan gemiddeld. Dit is te verklaren doordat in de periode waarin de monsters zijn genomen, zich problemen hebben voorgedaan met het mixen van de kelders onder de rundveestal. Daardoor is met name de dunne fractie uit de kelders naar de voormengput gepompt en vervolgens vergist.

Uit de analyses van de mest uit de verschillende tappunten blijkt dat er niet of nauwelijks sprake is van een ontwikkeling in de gehalten tijdens de vergisting. De grootste verandering vindt kennelijk plaats in het eerste deel van de vergister: het organische stofgehalte daalt en de pH stijgt.

Naast de standaard analyses is in de mestmonsters ook het gehalte aan vluchtige vetzuren bepaald. Vluchtige vetzuren zijn makkelijk afbreekbare organische bestanddelen in de mest en zorgen voor een belangrijk deel voor de geur van mest. Een lager gehalte aan vluchtige vetzuren na vergisting betekent dus een waarschijnlijk lagere geuremissie van de vergiste mest. Het gehalte van boterzuur, azijnzuur, propionzuur, iso-boterzuur, iso-valeriaanzuur en N-valeriaanzuur is in zowel rundveedrijfmest als in het onvergiste en vergiste mengsel van rundveedrijfmest en snijmaïs bepaald, zie tabel 4.

Tabel 4 Vluchtige vetzuursamenstelling van de ingaande onvergiste en uitgaande vergiste mest op Praktijkcentrum Nij Bosma Zathe tussen 31 oktober en 4 december 2004.

	Boterzuur (g/kg ds)	Azijnzuur (g/kg ds)	Propionzuur (g/kg ds)	Iso-boter zuur (g/kg ds)	Iso-valeriaanzuur (g/kg ds)	N-valeriaanzuur (g/kg ds)
Rundveedrijfmest	25,7	136,2	48,2	5,1	5,3	6,9
Rundveedrijfmest met snijmaïs	28,5	99,9	39,8	3,7	4,0	6,8
Na vergisting	0,0	6,4	1,6	1,1	0,8	0,3
Afname	100%	94%	96%	69%	79%	96%

Uit tabel 4 blijkt dat het aandeel vluchtige vetzuren sterk afneemt, gemiddeld 96%. Het is hierdoor redelijk te veronderstellen dat de geuremissie van onvergiste mest hoger is dan die van vergiste mest al is die niet vastgesteld.

De toegevoegde snijmais is niet afzonderlijk bemonsterd. Wel zijn landelijke gemiddelden bekend afkomstig van BLGG in Oosterbeek (www.blgg.nl). In tabel 5 is een overzicht gegeven van het droge stofgehalte, de verteringscoëfficiënt van organische stof (VCOS) en het aandeel verteerbaar organische stof (VOS). Uit deze drie waarden is het organische stofgehalte per kg product berekend.

Tabel 5 Gemiddelde waarden aan droge en organische stof in snijmais (bron: BLGG)

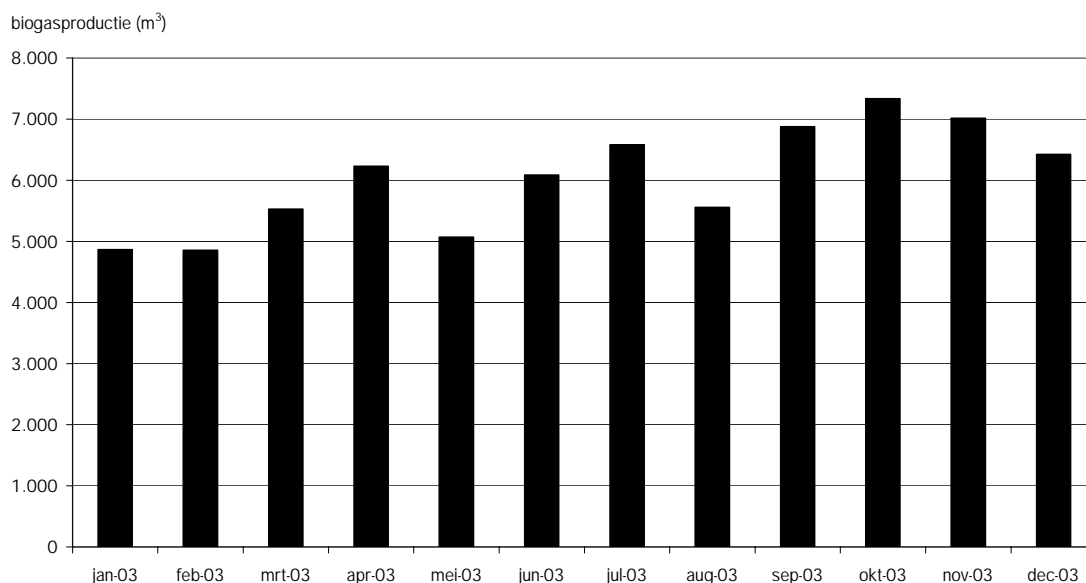
Jaar	Drogestof (g/kg)	Verteringscoëfficiënt OS (%)	Verteerbaar OS (g/kg DS)	Organische stof (OS) (g/kg)
2003	342	74,9	717	327
2002	328	75,3	721	314
2001	336	75,1	718	321
2000	331	75,6	729	319
1999	330	74,9	717	316
Gemiddelde	331	75	719	317

De voormengput heeft een inhoud van 20 m³ en werd normaal gesproken wekelijks gevuld met rundveedrijfmest en maïs. De hoeveelheid toegevoegd maïs is altijd gewogen. Gemiddeld voegde men per keer 1.586 kg maïs toe. Omgerekend bedroeg de gemiddelde toevoer 223 kg per dag. In de loop van de daaropvolgende week werd de inhoud van de put in kleine hoeveelheden in de vergister gepompt. Gemiddeld duurde het 7,5 dagen voordat de voormengput weer leeg was. Dit betekent dat dagelijks gemiddeld 2,67 m³ mengsel van mest maïs in de vergister is gepompt. De doorstroommeter tussen de voormengput en de vergister heeft een gemiddelde van 2,71 m³/dag geregistreerd. De gemeten waarde wijkt daarmee 1,5% af van de verwachte waarde. Dit is een acceptabele foutmarge gezien de variatie in het niveau tot waar de voormengput gevuld wordt. Elke decimeter niveauverschil betekend 1 m³ per week meer of minder te vergisten materiaal oftewel 0,13 m³ per dag. Met de gegevens uit tabel 3 is de gemiddelde belastingsgraad uit te rekenen. De belastingsgraad geeft de hoeveelheid te vergisten materiaal dat aan de vergister wordt toegevoegd, uitgedrukt in kg droge stof, per dag per m³ vergisterinhoud. Hierdoor is een betere vergelijking van verschillende vergisters onderling mogelijk. De gemiddelde belastingsgraad op Nij Bosma Zathe bedroeg 2,0 kg droge stof per dag per m³ inhoud van de vergister. Praktijkgegevens uit Duitsland laten zien dat men streeft naar een waarde van minimaal 2,5 kg droge stof per m³ inhoud van de vergister per dag. De op Nij Bosma Zathe gerealiseerde waarde ligt daaronder, waarschijnlijk met name door het lage droge stofgehalte van de gebruikte drijfmest.

3.2 Samenstelling en geproduceerde hoeveelheid biogas

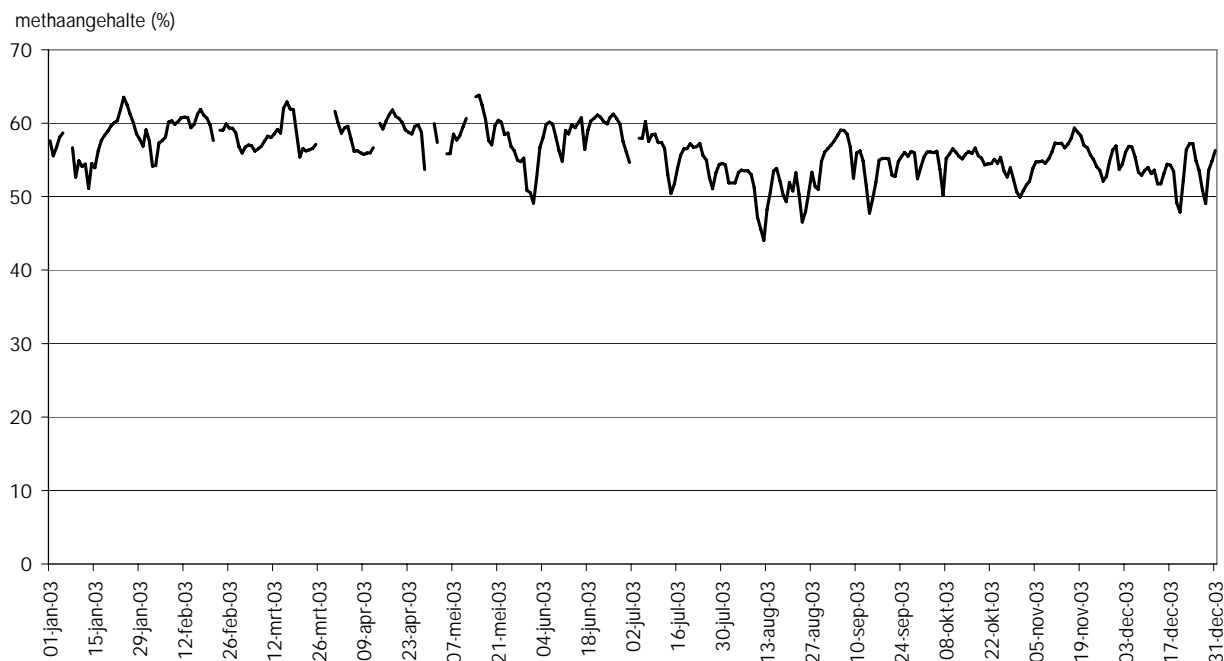
Sterksel

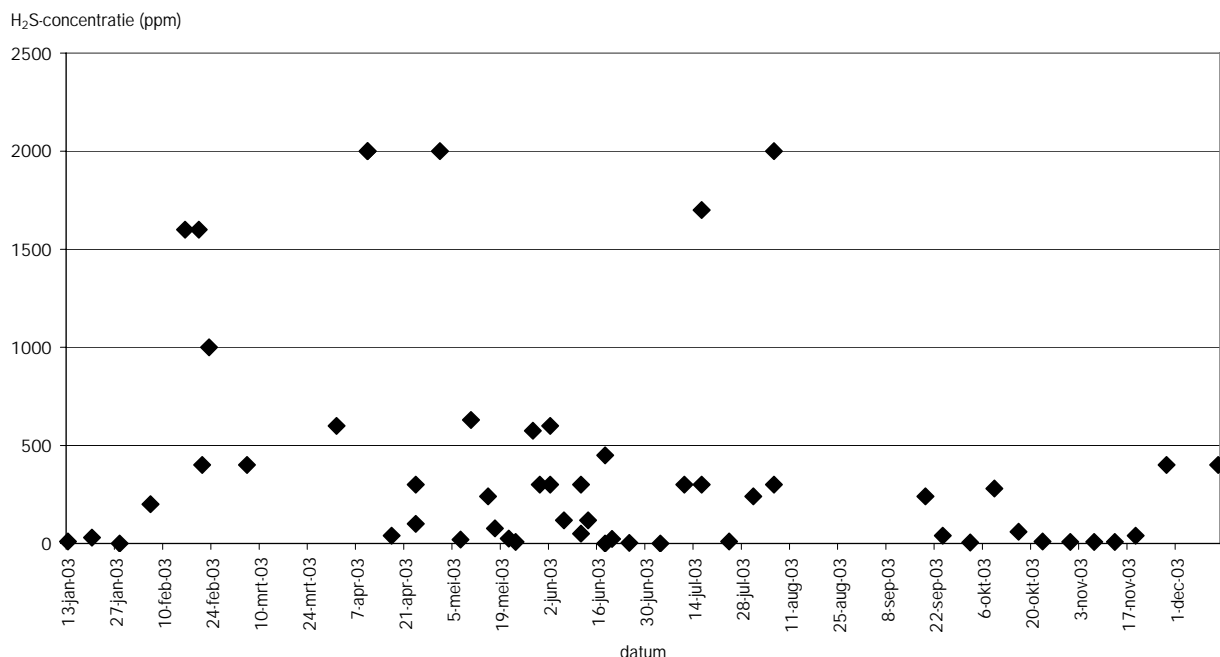
De biogasproductie van de mestvergistingsinstallatie op Praktijkcentrum Sterksel is gemeten met een gasdoorstroommeter die in de aanvoerleiding naar de gasmotor zat. In figuur 1 staat de hoeveelheid biogasproductie per maand in 2003 weergegeven.

Figuur 1 Biogasproductie per maand van de mestvergistinginstallatie op Praktijkcentrum Sterksel

Uit figuur 1 is op te maken dat de biogasproductie gedurende het jaar is toegenomen. De twee dalen in mei en augustus werden veroorzaakt door storingen aan de installatie.

Tijdens de onderzoeksperiode is de methaanconcentratie van het biogas continu gemeten met een elektronische methaanmeter. De concentraties aan koolstofdioxide, ammoniak en zwavelwaterstof in het biogas zijn regelmatig bepaald met Kitigawa buisjes. De gemiddelde concentraties in het biogas in 2003 waren als volgt: methaan 56%, koolstofdioxide 43%, ammoniak 2 ppm en zwavelwaterstof 416 ppm. In figuur 2 staat het verloop van de methaanconcentratie in het biogas van Praktijkcentrum Sterksel gedurende het hele jaar en in figuur 3 de gemeten concentraties aan zwavelwaterstof in het biogas.

Figuur 2 Verloop methaanconcentratie in het biogas van de mestvergistinginstallatie op Praktijkcentrum Sterksel

Figuur 3 Verloop van het gehalte aan zwavelwaterstof (H_2S) in het biogas op Praktijkcentrum Sterksel.

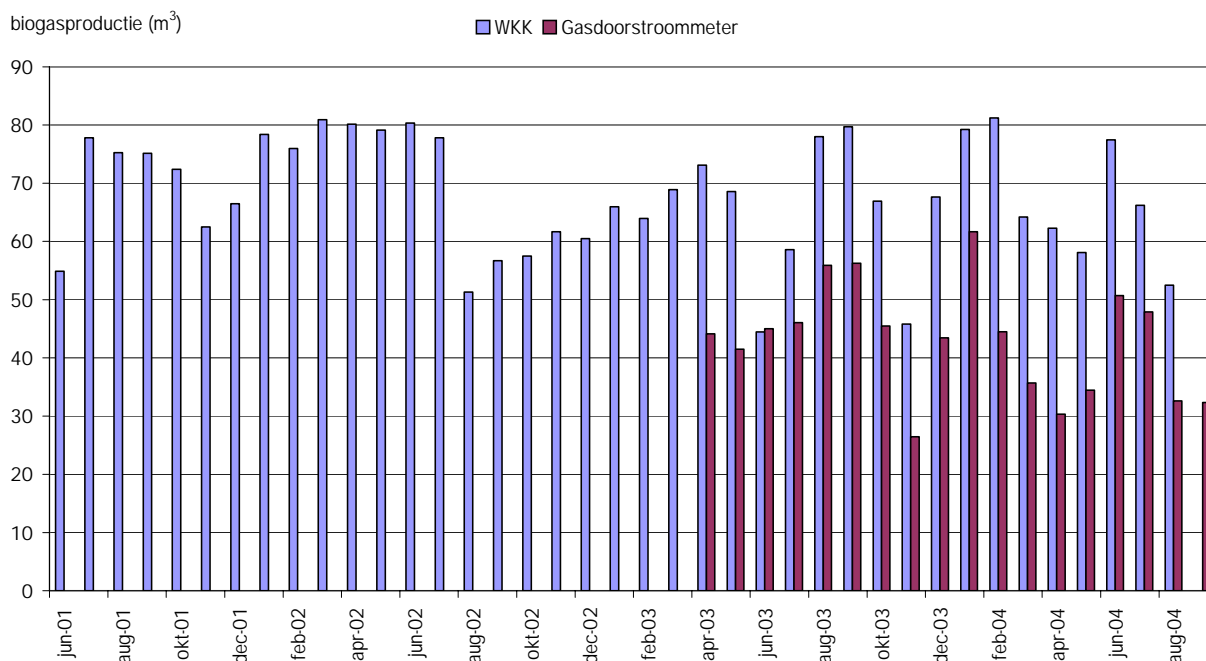
Het methaangehalte bleef tijdens het grootste deel van het jaar te variëren tussen de 50 en 60%. Het zwavelwaterstofgehalte heeft de grenswaarde van 500 ppm verscheidende malen overschreden, waardoor de gaskwaliteit te wensen overliet. De gemiddeld geproduceerde hoeveelheid biogas lag in 2003 op circa 20,5 m³ per m³ mest. Dit komt neer op circa 0,36 m³ biogas per kilogram organische stof (os) en circa 0,20 m³ methaan per kilogram organische stof. Dit is lager dan de verwachte waarde van 0,45 m³ biogas per kg os. Deze lage waarde is waarschijnlijk veroorzaakt doordat de drijvende gasopvang niet goed heeft gefunctioneerd gedurende het onderzoek. Triesdorf (www.triesdorf.de) geeft aan dat de gemiddelde biogasopbrengst van varkensmest op 0,40 biogas per kg os is, terwijl Keymer (2001) een gemiddelde waarde geeft van 0,45 m³ biogas per kg os.

Nij Bosma Zathe

De productie van biogas is op twee manieren vastgelegd: door de gasdoorstroommeter en door de WKK. De gemiddelde gasproductie zoals gemeten door de gasdoorstroommeter bedroeg 43,5 m³ per dag, van de WKK gemiddeld 68,0 m³ per dag. Het gemiddelde methaangehalte in het biogas gemeten in de gasleiding was 48,3%. Dat is 21,0 m³ methaan per dag. De WKK berekende een methaangehalte van 54,2%, een productie van 36,9 m³ methaan per dag. Tenslotte is het methaangehalte ook nog wekelijks gemeten met gasbuisjes. Het gemiddelde van deze meting was 60,1%. De afwijkende lagere waarden van de gasdoorstroommeter en de meter voor het methaangehalte in de gasleiding waren redenen om de montage in de gasleiding van beide meters nog eens kritisch te bekijken. Daaruit bleek dat door turbulenties in de gasleiding het waarschijnlijk is dat de gasdoorstroommeter niet de correcte gasflow heeft gemeten. De meters zijn daarop verplaatst en in het vervolg van dit verslag zijn de waarden van de WKK gebruikt voor verdere analyse.

In figuur 4 is het verloop van de biogasproductie weergegeven, is gemeten door de WKK en de gasdoorstroommeter.

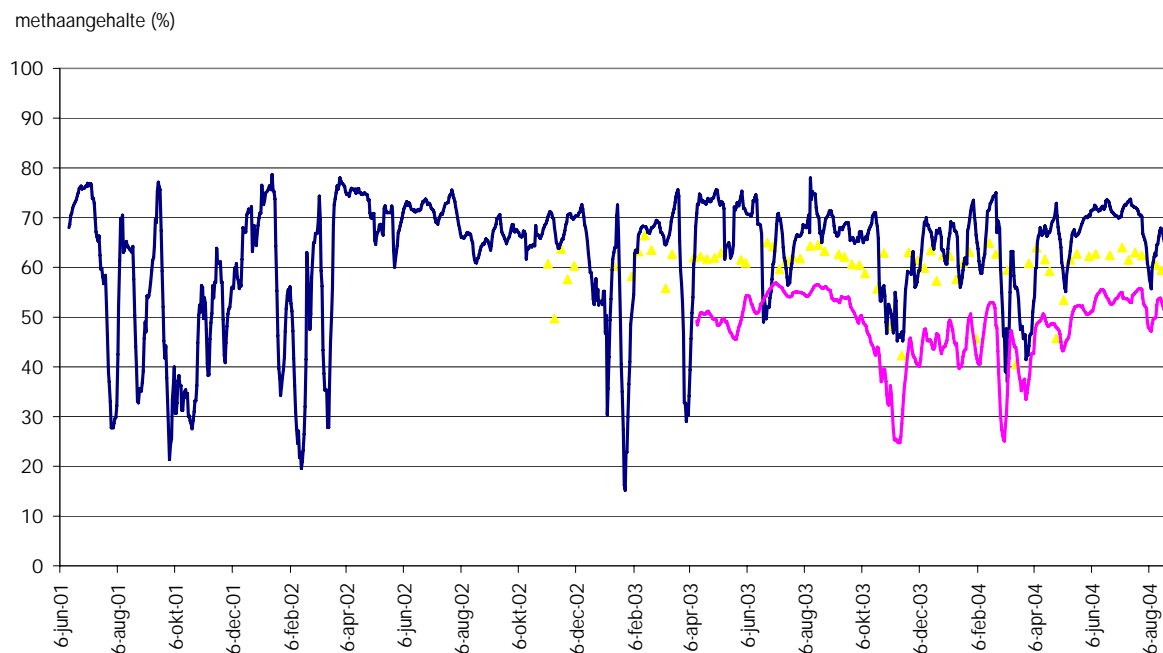
Figuur 4 Biogasproductie per maand gemeten door WKK en gasdoorstroommeter van de mestvergistinginstallatie op Praktijkcentrum Nij Bosma Zathe



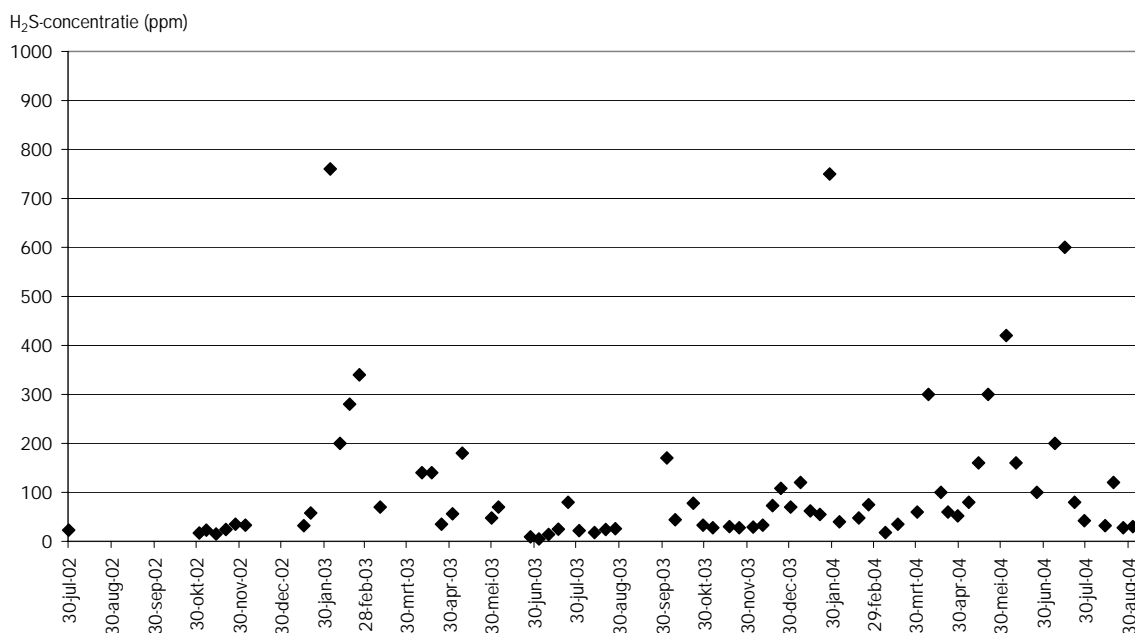
Ook uit de figuur blijkt het niveau van de gasdoorstroommeter inderdaad lager te liggen dan de waarde vastgelegd door de WKK, maar wel dezelfde fluctuaties te volgen.

Figuur 5 laat het verloop van het methaangehalte zien zoals dat op verschillende manieren gemeten is: door de WKK, met gasbuisjes en door de gasdoorstroommeter. Hoewel de gemiddelde waarden van elkaar verschillen vertoont ook hier het verloop van de concentraties een zelfde patroon. Het CO₂-gehalte in het gas is alleen gemeten met behulp van gasbuisjes. Het gemiddelde percentage was 34,3% en het verloop volgde het patroon van het methaangehalte. De concentratie ammoniak (NH₃) is gemeten met de gasbuisjes, maar nooit aangetoond en lag dus altijd onder de detectiegrens van 0,5 ppm. Dit lage gehalte is te verklaren. Ammoniak lost makkelijk op in water. Hoewel het dus waarschijnlijk wel vrijkomt tijdens vergisting van de drijfmest lost het op in het condenswater dat ontstaat wanneer het biogas afkoelt in de gaszak en dat via de gasleiding weer terugloopt naar de navergister. Tenslotte is ook het H₂S-gehalte met gasbuisjes vastgesteld, gemiddeld 108 ppm. Van de 70 waarnemingen lagen er 19 (27%) boven de 100 ppm. Figuur 6 toont het verloop van het zwavelwaterstofgehalte. De concentratie aan H₂S in het biogas is hiermee gemiddeld zo laag dat men geen problemen hoeft te verwachten van een snelle slijtage van motoronderdelen. Toch geven de uitschieters in de metingen aan dat de H₂S-concentratie niet op een constant laag niveau ligt. De gaskwaliteit is daardoor bepaalde perioden te laag met gevolgen voor de levensduur van de WKK.

Figuur 5 Verloop methaangehalte in het biogas van de mestvergisingsinstallatie op Praktijkcentrum Nij Bosma Zathe met van boven naar beneden WKK, gasbuisjes en gasdoorstroommeter



Figuur 6 Verloop gehalte aan zwavelwaterstof (H_2S) in het biogas op Praktijkcentrum Nij Bosma Zathe



Door de gegevens over de samenstelling van de ingaande stromen uit paragraaf 3.1 te combineren met de bovenstaande gegevens over gashoeveelheid en –samenstelling is de gasproductie per eenheid ingaand te vergisten mengsel te berekenen. Uitgaande van een toevoer van $2,71 \text{ m}^3$ te vergisten mengsel per dag, een soortelijk gewicht van het te vergisten mengsel van $1,005 \text{ ton/m}^3$ en een organische stofgehalte van 47 gram per kilogram, wordt per dag gemiddeld 129 kg organische stof aan de vergister toegevoegd. Met een biogasproductie van $68,0 \text{ m}^3$ per dag en een methaanproductie van $36,9 \text{ m}^3$ per dag betekent dat een biogasproductie van $0,53 \text{ m}^3$ per kg organische stof en een methaanproductie van $0,29 \text{ m}^3$ per kilogram organische stof. In tabel 6 staan de specifieke methaan- en biogasopbrengsten voor snijmais en rundveedrijfmest zoals gevonden door Lent en van Dooren (2001 zie ook www.tiesdorf.de.)

Omdat het bij Nij Bosma Zathe om een mengsel gaat van rundveedrijfmest en snijmais is aan de hand van deze gegevens niet direct te beoordelen of de berekende waarden overeenkomen met de te verwachten biogas- en methaanopbrengsten op basis van de literatuurgegevens.

Tabel 6 Specifieke gasopbrengsten van rundveedrijfmest en mais

	Methaanopbrengst [m ³ /kg OS]	Biogasopbrengst [m ³ /kg OS]	Bron
Rundveedrijfmest	0,17	0,30	Lent en van Dooren, 2001
Snijmaiskuil	0,40	0,7	www.triesdorf.de

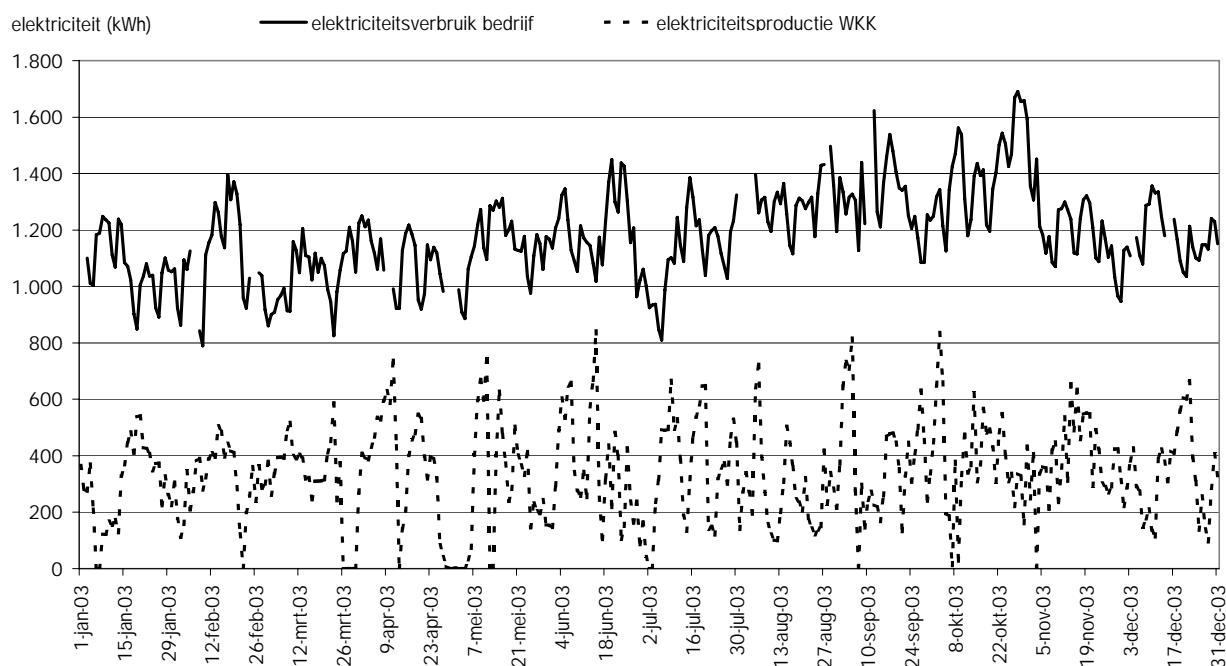
Zoals eerder vermeld wordt dagelijks 129 kg organische stof toegevoegd aan de vergister. Daarvan is 70,7 kg afkomstig van mais (31,7% van 223 kg). Uitgaande van de specifieke gasopbrengsten in tabel 6, levert de mais in het te vergisten mengsel daarmee 49,5 m³ biogas met methaangehalte van 57%, oftewel 28,3 m³ methaan op. De rest van de organische stof is afkomstig uit rundveedrijfmest en levert per dag 17,4 m³ biogas oftewel 9,8 m³ methaan. De totale biogasopbrengst berekent met gegevens uit tabel 6 is daarmee 66,8 m³, 98% van de werkelijk gemeten biogasproductie per dag. De toegevoegde mais draagt daarmee bijna voor driekwart bij aan de totale productie van biogas.

3.3 Elektriciteitsproductie en -verbruik

Sterksel

In figuur 7 staan de elektriciteitsproductie over 2003 van de mestvergistingsinstallatie en het elektriciteitsverbruik op Praktijkcentrum Sterksel weergegeven.

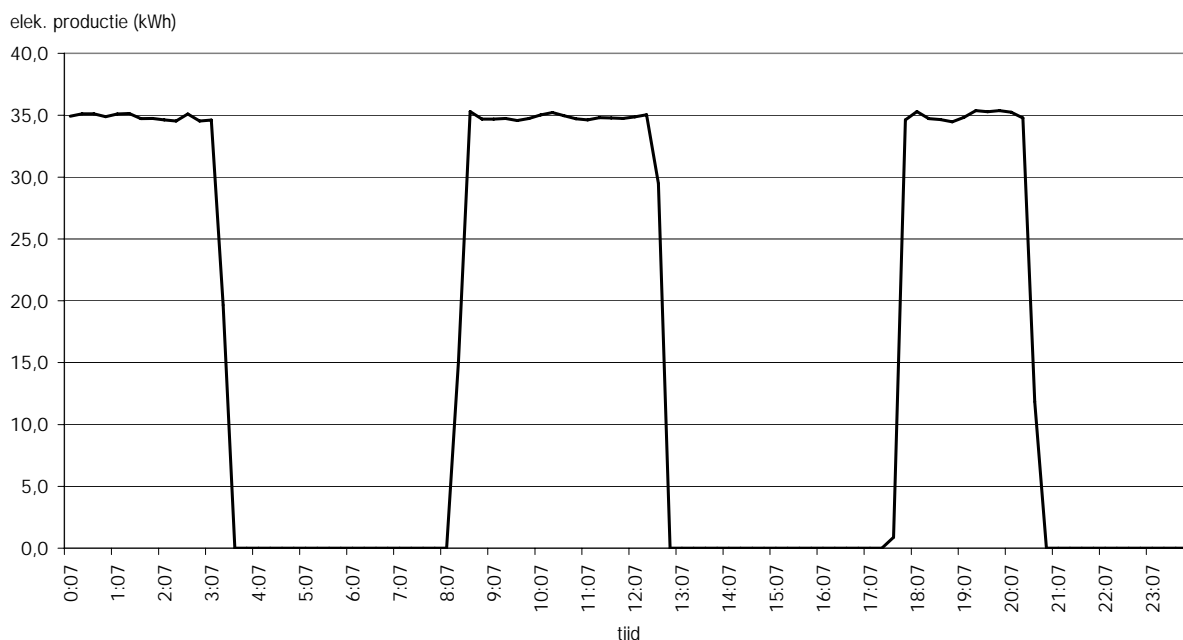
Figuur 7 Elektriciteitsproductie per dag van de mestvergistinginstallatie en het elektriciteitsverbruik op Praktijkcentrum Sterksel



In 2003 werd in totaal 122.717 kWh aan duurzame elektriciteit geproduceerd wat neerkomt op gemiddeld 336 kWh per dag. De hoogste dagproductie lag op 843 kWh en de laagst op 0 kWh, omdat de installatie door een storing niet kon draaien. Op Praktijkcentrum Sterksel is in 2003 in totaal 416.823 kWh aan elektriciteit verbruikt. Het opgenomen elektrisch vermogen lag 's nachts gemiddeld rond de 41 kW en overdag rond de 60 kW. Het hoogste gemeten opgenomen elektrisch vermogen lag op 95 kW. De elektriciteitsproductie van de huidige mestvergistingsinstallatie met een WKK van 37 kWe kan men dus voor een groot deel gebruiken in het eigen bedrijf.

Het elektriciteitsverbruik van de mestvergistingsinstallatie zelf was gemiddeld 16,3 kWh per dag. Per kuub biogas is 1,68 kWh geproduceerd door de mestvergistingsinstallatie en per kuub ingevoerde mest ruim 34 kWh. Het elektrisch rendement van de WKK bedroeg ongeveer 30%. In figuur 8 staat als voorbeeld het verloop van de elektriciteitsproductie van de mestvergistingsinstallatie op Praktijkcentrum Sterksel van 22 mei 2003. De WKK stond op deze dag ingesteld op een elektrisch vermogen van 35 kWe en een wachttijd van 5 uur na afslaan van de gasmotor als de gasopslag leeg was.

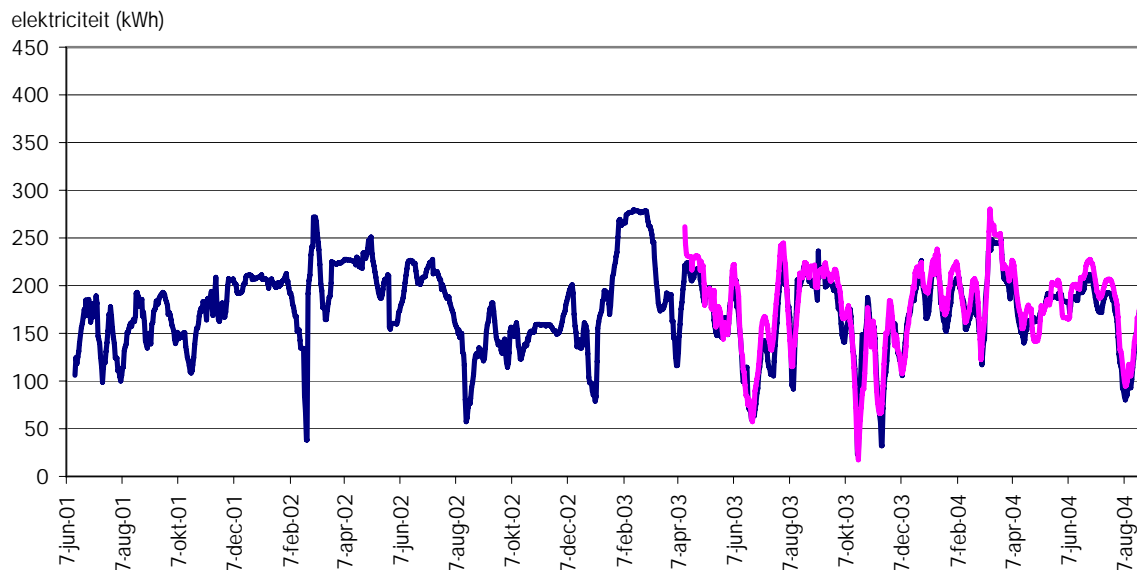
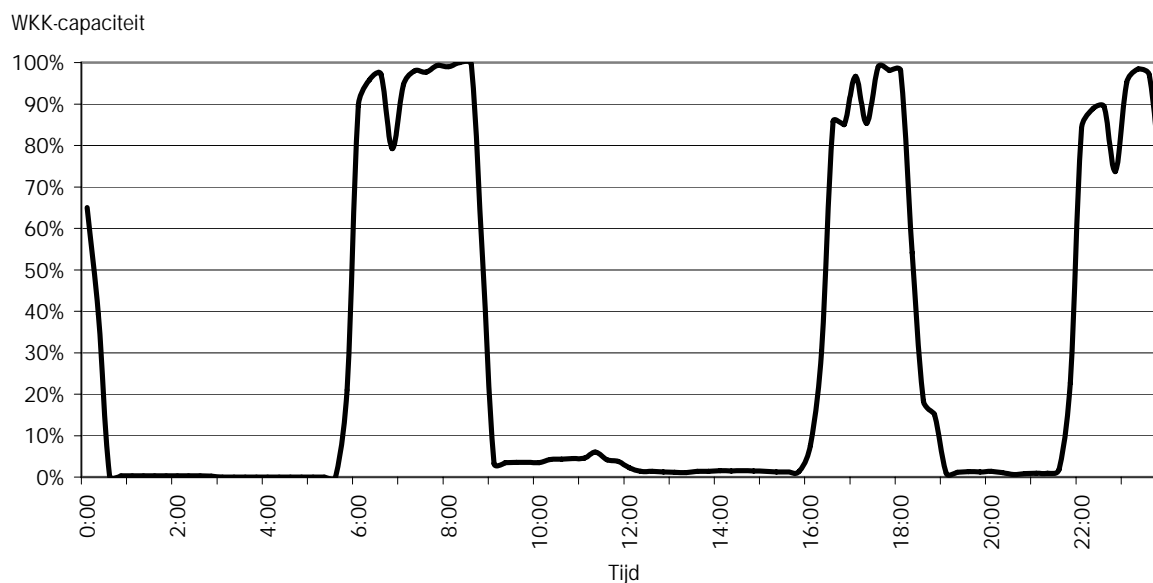
Figuur 8 Verloop de elektriciteitsproductie in kWh van de mestvergistingsinstallatie op Praktijkcentrum Sterksel van 22 mei 2003



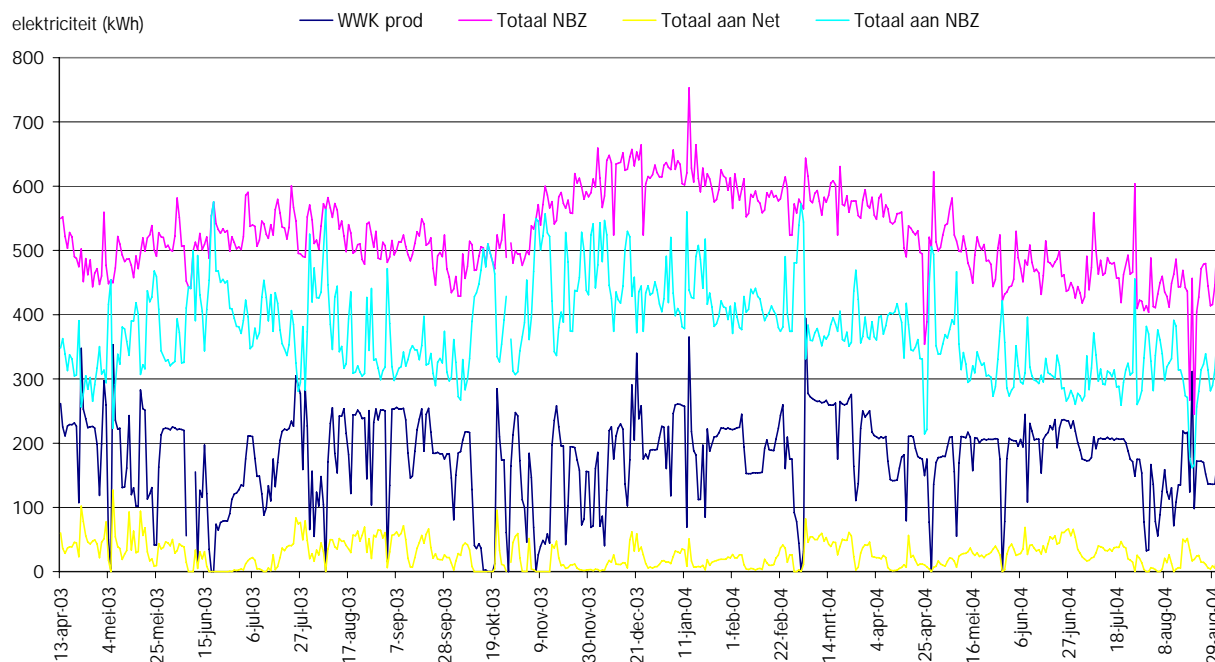
Uit figuur 8 blijkt dat de geproduceerde elektriciteit licht schommelt rond de ingestelde waarde van 35 kWe en dat na een wachttijd van 5 uur weer ruim voldoende biogas was geproduceerd om meerdere uren achter elkaar te kunnen draaien.

Nij Bosma Zathe

Het verloop van de elektriciteitsproductie is weergegeven in figuur 9. Daaruit blijkt dat de metingen door de WKK vrijwel gelijk lopen met de kWh-meters van het datalogstelsel. De gemiddelde elektriciteitsproductie, gemeten door de kWh-meters, bedroeg 177,4 kWh, terwijl de WKK een gemiddelde van 175,9 kWh per dag registreerde. De WKK draaide echter niet continue, maar afgezien van stilstand door storing of onderhoud gemiddeld 7 uur per dag. Deze uren waren verdeeld over drie perioden per dag wanneer de vraag naar elektriciteit op Nij Bosma Zathe het grootst was: tijdens het melken, 's morgens tussen 6:00 en 9:00 uur en 's middags tussen 16:00 en 19:00 uur en tijdens het mixen van de mest 's avond rond 23:00 uur (figuur 10).

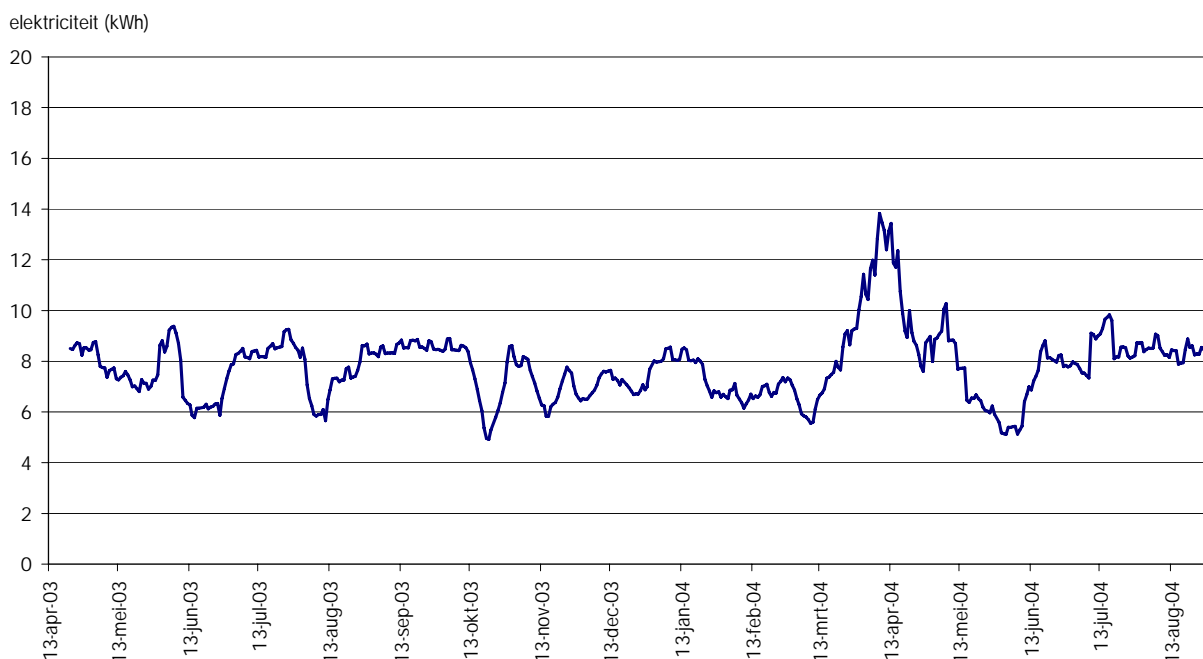
Figuur 9 Verloop elektriciteitsproductie per dag gemeten door WKK en kWh-meters (zwevend gemiddelde over 10 dagen)**Figuur 10** Gemiddelde verdeling van de capaciteit van de WKK over de dag (gemiddelde van april 2003 t/m augustus 2004)

Op basis van de kWh-productie en de gemiddelde verbrandingswarmte van biogas (25 MJ per m³) is het elektrisch rendement van de WKK uit te rekenen. Dit bedroeg in de periode tussen 6 januari 2001 en 31 augustus 2004 30,8%. Voor een WKK van deze relatief kleine omvang (37 kWe) en het feit dat de WKK niet continue draait (maar drie keer per etmaal opstart) is dit een realistische waarde. Naast de geproduceerde hoeveelheid elektriciteit is het totale verbruik op Nij Bosma Zathe en de levering aan en ontvangst van het net bijgehouden. Gemiddeld werd per dag 26,2 kWh aan het net geleverd en 373,8 kWh uit het net ontvangen. Het totale verbruik van NBZ is berekend als de eigen productie door de WKK plus de ontvangst uit het net min de levering aan het net. Het gemiddelde totale eigen verbruik van Nij Bosma Zathe bedroeg 525,0 kWh per dag. Het verloop van levering, ontvangst en totaal verbruik is weergegeven in figuur 11. Van het totale verbruik was 29% afkomstig van de eigen WKK, terwijl de overige 71% afkomstig was uit het net. Van de totale hoeveelheid opgewekte elektriciteit is 15% teruggeleverd aan het net wat gelijk is aan 7% van de afname uit het net.

Figuur 11 Verloop elektriciteitsproductie, -verbruik en -levering van en -ontvangst aan het net op Nij Bosma Zathe

Tenslotte is ook het eigen verbruik van de vergistingsinstallatie door pompen en mixers geregistreerd. Die bedroeg gemiddelde 7,8 kWh per dag, 5% van het totale verbruik op Nij Bosma Zathe en 4,1% van de hoeveelheid opgewekte elektriciteit. Het verloop van het eigen verbruik is weergegeven in figuur 12.

In dit figuur is in de periode dat natuurgas is toegevoegd (tussen 7 maart en 17 mei 2004) een duidelijke stijging van het eigen verbruik waarneembaar. Dit is het gevolg van de extra energie die gestoken moet worden in het mixen en gemengd houden van het gras en de drijfmest. Het gemiddelde stroomverbruik in die periode bedroeg 10,1 kWh per dag waardoor het gemiddelde van de overige periode daalde naar 7,51 kWh per dag.

Figuur 12 Verloop eigen elektriciteitsverbruik door mestvergister op Nij Bosma Zathe

3.4 Warmteproductie en -verbruik

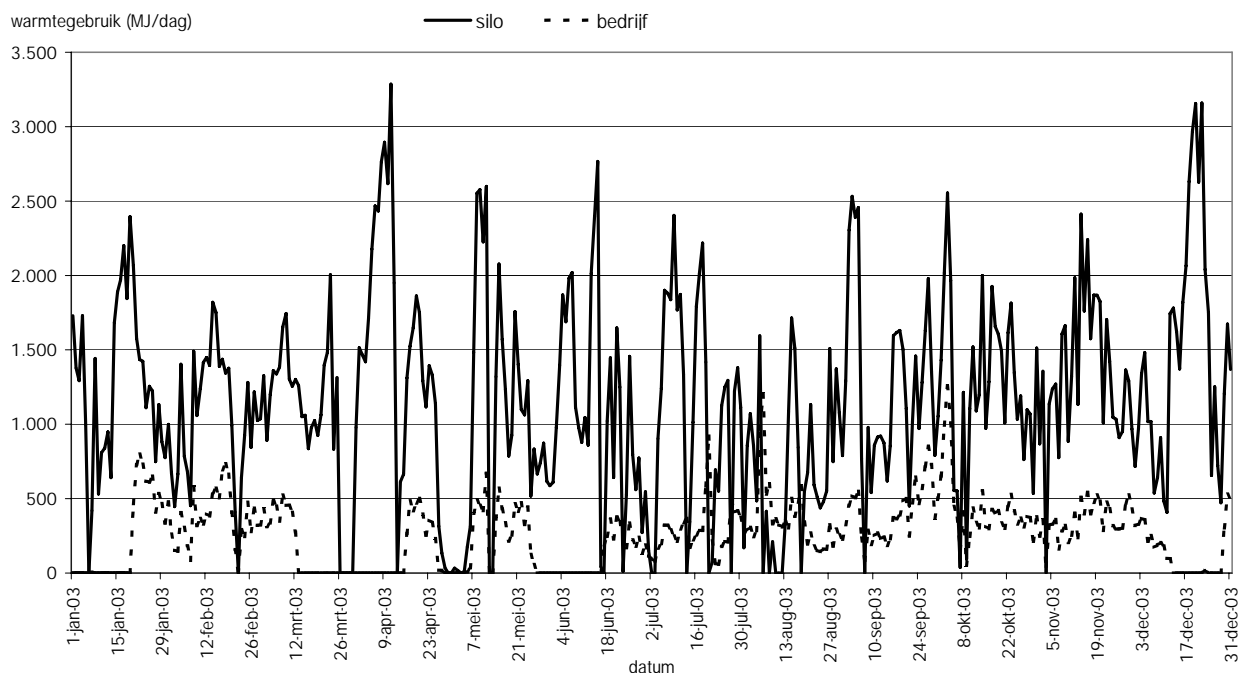
Sterksel

De totale energiehoeveelheid in het geproduceerde biogas bedroeg in 2003 ruim 1.474.000 MJ, waarvan 30% omgezet is in elektriciteit. Hierdoor was bruto ruim 1.032.000 MJ beschikbaar voor verwarmingsdoeleinden. Omgerekend is dus gemiddeld 2.828 MJ/dag door de WKK aan energie omgezet in warmte. Hiervan is gemiddeld 1.168 MJ/dag (41%) naar de vergister gegaan en 265 MJ/dag (9%) naar het bedrijf. De helft is dus verloren gegaan door warmteverliezen in de motor en leidingen en via de noodkoeler. Van de geproduceerde warmte-energie is dus maar 9% gebruikt voor verwarmingsdoeleinden in het bedrijf. Dit komt omdat:

1. de temperatuur van het verwarmingscircuit van de WKK vaak lager was dan de retourtemperatuur van de CV-ketel (o.a. veroorzaakt door te overbruggen afstand van de WKK naar de CV-ketel)
2. op Praktijkcentrum Sterksel ook als demonstratie- en onderzoeksprojecten andere duurzame energiebronnen zijn geïnstalleerd zoals bijv. een zonneboiler en warmtepomp.

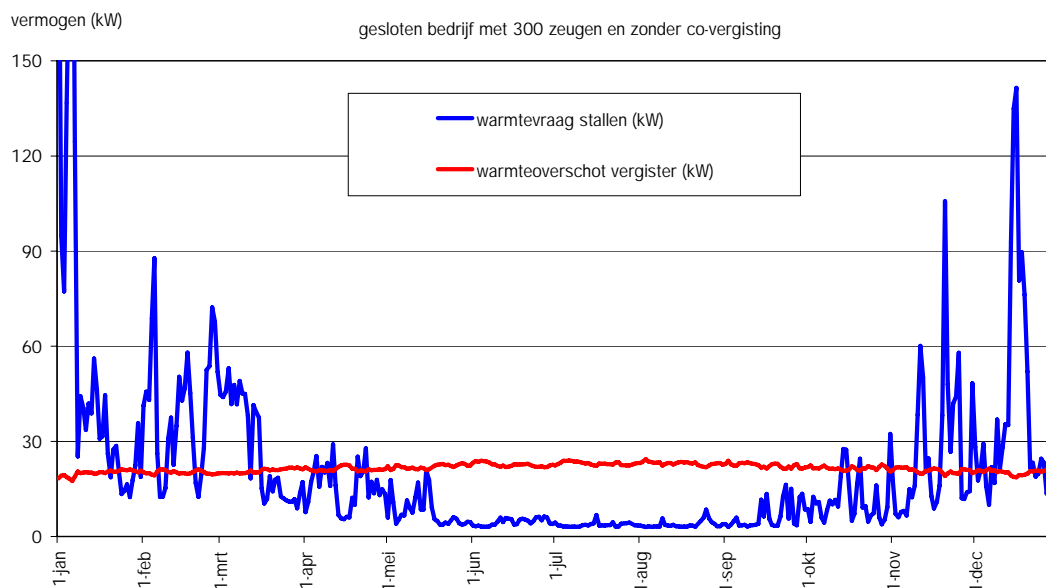
Het totale energierendement (elektriciteit en warmte) van de WKK-installatie van de mestvergistingsinstallatie bedroeg daarmee in 2003 ruim 65%. In figuur 13 staat het verloop van de warmtebenutting per dag door de vergister en de warmtestroom naar het bedrijf van de mestvergistingsinstallatie op Praktijkcentrum Sterksel in 2003.

Figuur 13 Daggemiddelde warmtestroom van de WKK naar de vergister en het bedrijf op Praktijkcentrum Sterksel in 2003



Uit figuur 13 blijkt dat de warmtevrage van de vergister gedurende het jaar een wisselend karakter vertoonde. Ook is duidelijk te zien dat maar een kleine warmtestroom naar het bedrijf heeft plaatsgevonden. Aangezien er meerdere duurzame energiebronnen op Praktijkcentrum Sterksel aanwezig zijn, geeft dit een vertekend beeld wat de daadwerkelijke warmtestroom van een vergister naar een varkensbedrijf kan zijn. Daarom is via een berekening voor een gemiddeld gesloten zeugenbedrijf met 300 zeugen nagegaan wat de mogelijke besparing aan verwarmingskosten kunnen zijn dankzij mestvergisting. In figuur 14 staat de warmtevrage van het bedrijf weergegeven en het warmteoverschot van de WKK-installatie van de vergister.

Figuur 14 Warmtevraag op een gemiddeld gesloten zeugenbedrijf en warmteoverschot van de WKK-installatie bij mestvergisting



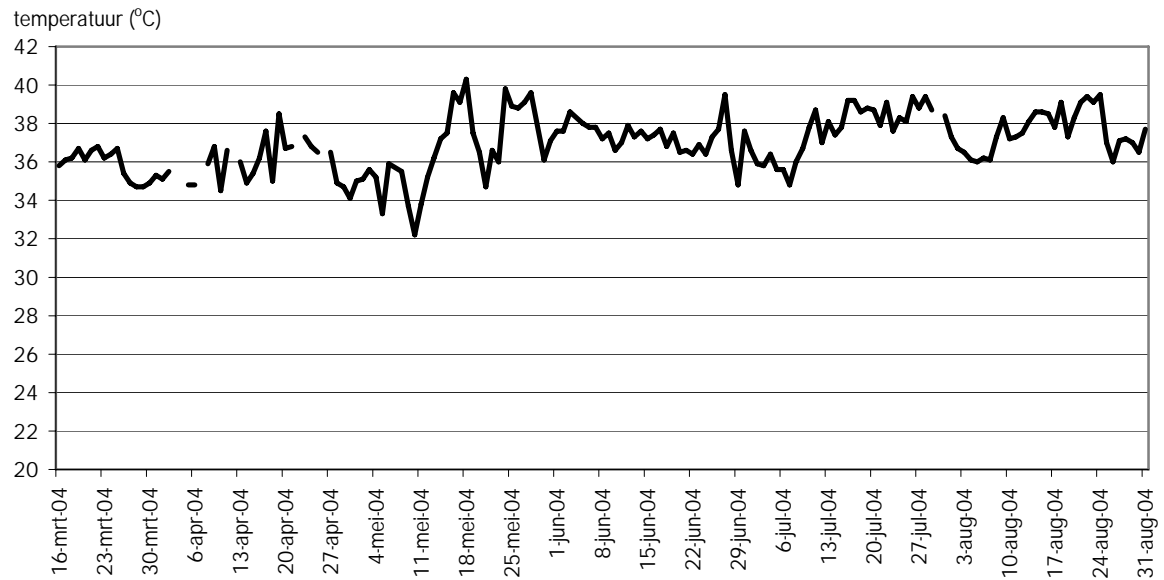
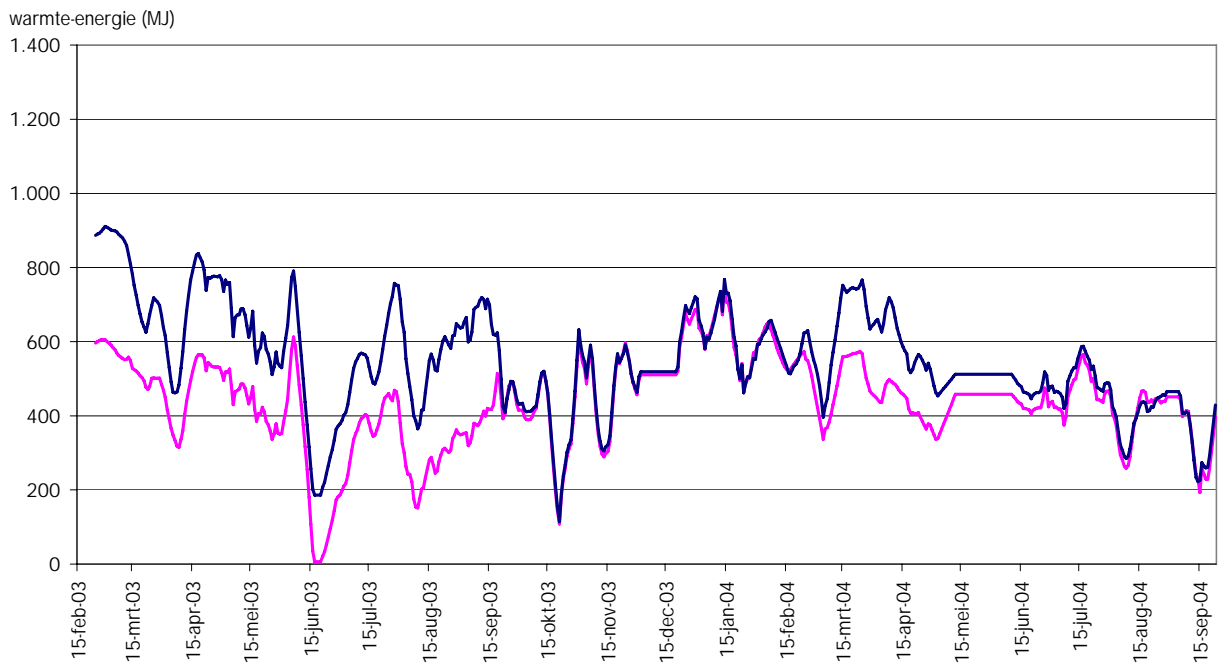
Uit figuur 14 komt naar voren dat de warmtevraag op een gesloten zeugenbedrijf niet aansluit bij het warmteoverschot van de mestvergistingsinstallatie. Het warmteoverschot is namelijk redelijk constant gedurende het jaar, terwijl de warmtevraag in de winter groot is en in de zomer klein. Uit de berekening komt naar voren dat maximaal ongeveer 50% van verwarmingsbehoefte gedekt kan worden met het warmteoverschot uit de mestvergistingsinstallatie.

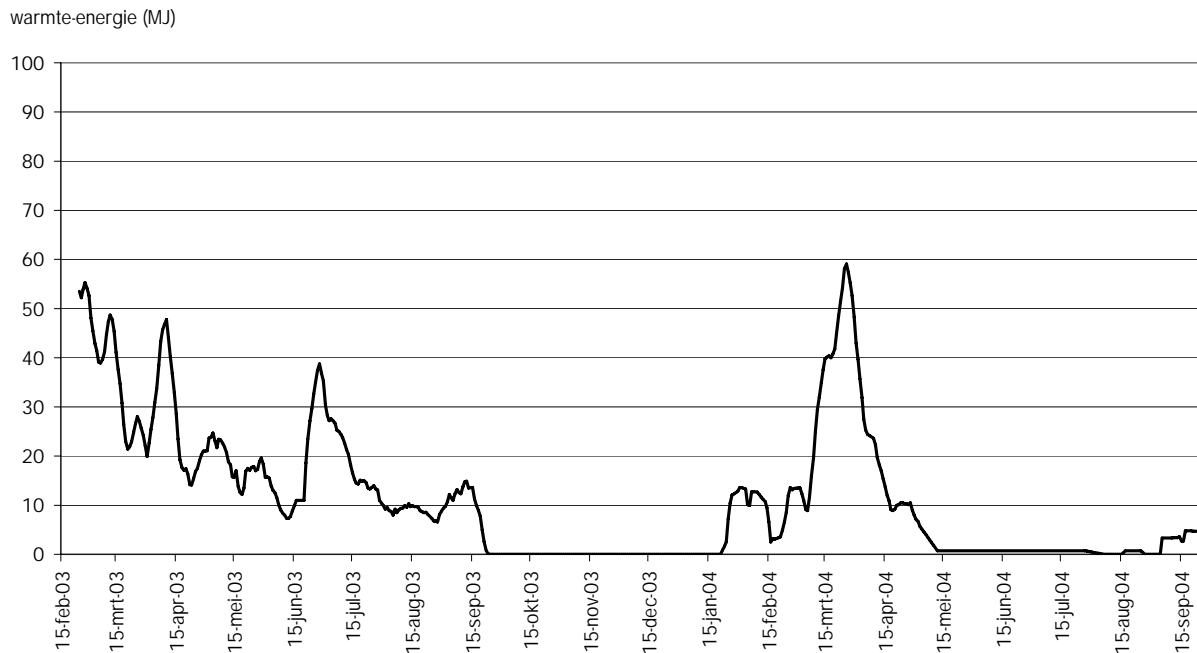
Nij Bosma Zathe

De meeste energie in het biogas komt vrij als verbrandingswarmte. Het primaire koelwatercircuit van de motor, waarmee ook de rookgassen worden gekoeld, draagt deze warmte via een warmtewisselaar over op een secundair circuit. Overtollige warmte wordt door een noodkoeler, die in het primaire circuit is opgenomen, vernietigd. Dit secundaire circuit splits zich in een deel voor de vergister en een deel voor het kantoor. In beide takken is een pomp en een warmtemeter opgenomen. De pomp in de vertakking naar de vergister draaide tot maart 2004 continue. Alleen wanneer de WKK loopt wordt echter warmte aan de vergister toegevoerd. In de overige gevallen kan het zijn dat het water dat rondgepompt wordt door de vergister een koelende werking heeft in plaats van een verwarmend effect. Daarom is in maart 2004 ertoe overgegaan de pomp het water door de vergister alleen te laten draaien wanneer de WKK in bedrijf is. Zo voorkomt men dat het water de vergister koelt in plaats van opwarmt. Vanaf die tijd is ook de temperatuur van de vergister dagelijks genoteerd (figuur 15). In totaal heeft de WKK gemiddeld 559 MJ per dag opgewekt waarvan gemiddeld 446 MJ per dag (79%) door de vergister werd opgenomen en 12 MJ per dag (2%) door het kantoor. De rest, 102 MJ per dag (19%), kan men beschouwen als leidingverlies of is vernietigd door de noodkoeler.

Figuur 15 Verloop temperatuur in de vergister op Nij Bosma Zathe vanaf maart 2004.

Het verloop van de warmteproductie en het aandeel dat naar de vergister is gegaan, zijn weergegeven in figuur 16. Het verloop van het aandeel van de geproduceerde warmte dat naar het kantoorgebouw is gegaan is weergegeven in figuur 17.

**Figuur 16** Dagverloop van totale warmteproductie (bovenste lijn) en het aandeel voor de vergister op Nij Bosma Zathe

Figuur 17 Verloop van het aandeel warmte voor het kantoorgebouw van Nij Bosma Zathe

Het blijkt dat juist in de winterperiode, wanneer de warmtevraag het grootst is, het aandeel warmte voor het kantoorgebouw nul is, terwijl in het voor- en najaar het aandeel toeneemt. Dit lijkt in eerste instantie onlogisch maar is waarschijnlijk te verklaren door het volgende. Het warme water van de WKK loopt door een ondergrondse geïsoleerde leiding vanuit de WKK-ruimte naar het kantoorgebouw, een afstand van ongeveer 50 meter. Daar wordt de warmte met een warmtewisselaar overgedragen op de ingaande leiding van de aanwezige HR-ketel. In de ketel wordt het retourwater bijverwarmd tot 90 °C. Wanneer in de winter het kantoorgebouw continue verwarmd wordt is het waarschijnlijk dat het terugkerende water een hogere temperatuur heeft dan het water vanuit de WKK. Over het algemeen heeft het terugkerende CV-water een temperatuur van 70 °C. Het koelwater van de WKK in het primaire circuit heeft een temperatuur van minimaal 90 °C. Het is aannemelijk dat dit water na twee warmtewisselaars en 50 meter transportleiding inmiddels is afgekoeld tot onder de 70 °C. Alleen in het voor- en najaar, als de ruimten in het kantoor niet meer continue verwarmd worden, is de temperatuur van het terugkerende CV-water lager dan de temperatuur van het koelwater van de WKK. Zo levert de WKK een bijdrage aan de verwarming van het kantoorgebouw. Daar komt nog bij dat de warmtevraag van de vergister in de wintermaanden ook groter is en dus minder warmte beschikbaar komt voor ruimteverwarming in het kantoor. Door het stookgedrag van de ketel afhankelijk te maken van de buitentemperatuur is waarschijnlijk meer warmte uit de vergister nuttig in te zetten. Vooral in het voor- en najaar wanneer buitentemperaturen relatief hoog zijn, kan met een lagere keteltemperatuur gewerkt worden, waardoor warmte van de vergister ingezet kan worden.

3.5 Arbeid, onderhoud en reparaties

Sterksel

De dagelijkse werkzaamheden aan de mestvergistingsinstallatie op Praktijkcentrum Sterksel bestonden uit het inpompen van de mest in de vergister, controle van de mestvergistingsinstallatie, indien nodig aanpassing van de luchttoevoer voor de ontzweveling, bijvullen van olie en water en leegzuigen van de condensput. Dit vergde dagelijks gemiddeld ongeveer 15-30 minuten per keer. De standaardonderhoudswerkzaamheden aan de gasmotor bestonden uit:

- olie verversen (elke 500 uur)
- luchtfilter draaien (elke 500 uur)
- bougies controleren/vervangen (elke 500 uur)
- kleppen controleren/stellen (elke 500 uur)
- algehele controle (elke 500 uur)
- oliefilter vervangen (elke 1000 uur)
- luchtfilter vervangen (elke 2000 uur)

De volgende storingen, reparaties en overig onderhoud hebben plaatsgevonden aan de mestvergistingsinstallatie op Praktijkcentrum Sterksel in 2003:

- Verstopte gasleiding: leiding schoongemaakt en later afzuigpunt gas verplaatst naar hoger gelegen punt.
- Regelcomputer kapot: vervangen door nieuwe regelcomputer.
- Stilstand mestmixer door kapotte relais: vervangen door zwaardere relais, maar doordat de reparatie niet goed was uitgevoerd, draaide mestmixer continu waardoor overmatige schuimvorming optrad.
- Olie mestmixer vervangen.
- Slecht afsluitende ring van de gaszak waardoor gas ontsnapte: ring van de gaszak verzwaard zodat de afsluiting met mest beter was.
- Kapotte mestniveausensor, waardoor afvoer pomp te veel mest heeft weggepompt: sensor vervangen door nieuwe sensor.
- Mest op gaszak terechtgekomen: mest van gaszak afgeschepd.
- Gasmotor een aantal keren niet automatisch gestart: handmatig gestart.
- Gasdetectiesysteem boven de gasopslag gecontroleerd en geijkt door fabrikant.
- Slecht functionerende regelklep rookgaskoeler: vervangen door nieuwe regelklep.

Nij Bosma Zathe

Op Nij Bosma Zathe voert men dagelijks controlewerkzaamheden uit aan de vergister. De eerste controle ('s morgens) is een inspectie van de gaszak. Wanneer deze normaal gevuld is beperken de werkzaamheden zich tot het inpompen van de mest in de vergister en controle van de temperatuur van de tank. Dit vergt dagelijks ongeveer 15 minuten per keer. Wanneer de gaszak onvoldoende gevuld is, wordt de installatie onderworpen aan een uitgebreidere inspectie.

De standaardonderhoudswerkzaamheden aan de motor bestonden uit onderstaande zaken. Tussen haakjes staat de termijn in uren waarop de werkzaamheden worden uitgevoerd:

- olie verversen (500 uur)
- luchtfilter reinigen en draaien (500 uur)
- kleppen controleren/stellen (500 uur)
- algehele controle (500 uur)
- oliefilter vervangen (1000 uur)
- luchtfilter vervangen (2000 uur)

De volgende storingen, reparaties en overig onderhoud hebben plaatsgevonden aan de mestvergistingsinstallatie op Praktijkcentrum Nij Bosma Zathe in 2003:

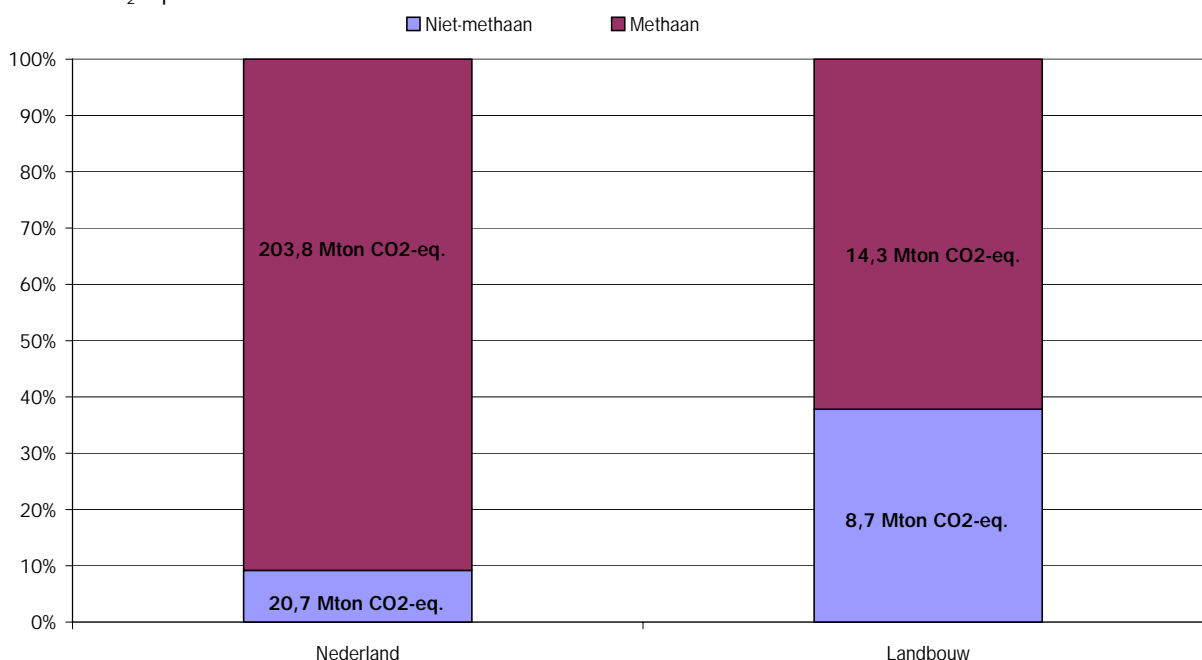
- Aanvoerleiding mest naar vergistingstank verstopt: leiding los en schoongemaakt.
- Aanvoerleiding mest naar vergistertank bevroren: aanvoerleiding is voorzien van thermolint en geïsoleerd om deze problemen in toekomst te voorkomen.
- Motor start niet: probleem opgelost door onderhoudsmonteur.
- Storing door te laag toerental.
- Storing door afwijkende oliedruk.
- Storing motortemperatuur te hoog.
- Storing door verkeerde spanning.
- Motor gebruikt geen gas meer: gasdrukventiel kapot en deze vervangen.
- Deksel van navergister afgedrukt doordat de pomp niet op tijd afpompte omdat de mestniveausensor bleef hangen. Sensor schoongemaakt.

4 Reductie broeikasgassen

Overzicht van broeikasgasemissies

De totale methaanemissie in Nederland bedroeg in 2000 20,7 Mton CO₂-equivalenten, terwijl de totale emissie van broeikasgassen in dat jaar 224,5 Mton CO₂-equivalenten bedroeg. Het aandeel van methaan in de totale broeikasgasemissie was daarmee in 2000 9,2%. De bijdrage van de landbouw in de totale emissie van broeikasgassen was ruim 10%, namelijk 23,0 Mton CO₂-equivalenten. Het aandeel in de totale methaanemissie lag veel hoger, namelijk op 42%. De uitstoot van methaan bedroeg 8,7 Mton CO₂-equivalenten. Het aandeel methaan in de totale uitstoot van broeikasgassen in dus relatief groot.

Figuur 18 Overzicht aandeel methaan in uitstoot van broeikasgassen in Nederland en in de landbouw in Mton CO₂-equivalenten.



Binnen de landbouw zijn twee belangrijke bronnen van methaanemissie aan te wijzen: de pensfermentatie bij herkauwers en de methaanemissie uit mest. Pensfermentatie draagt het meeste bij aan de methaanemissie in de landbouw: in 2000 77% van de totale methaanemissie uit de landbouw: namelijk 6,70 Mton CO₂-equivalenten, terwijl de methaanemissie uit mest 1,91 Mton CO₂-equivalenten oftewel 22% was. Het theoretische maximale reductiepotentieel van maatregelen ter vermindering van methaanemissie uit mest is dus 1,91 Mton CO₂-equivalenten. Dat is 0,9% van totale uitstoot van broeikasgassen in Nederland en 9,2% van de totale methaanuitstoot in Nederland. Bovenstaande gegevens zijn afkomstig uit het milieucompendium van het RIVM (www.rivm.nl/milieucompendium).

Binnen het aandeel methaanemissie uit mest zijn de posten productie, opslag, beweiding, verwerking en toediening te onderscheiden. Het IPCC rekent de emissie volledig toe aan de post opslag. Mol en Hilhorst (2003) ontwikkelden echter een alternatieve berekeningsmethode waardoor de emissies van broeikasgassen uit mest veel hoger komen te liggen (71%) en waarbij een deel van de emissies ook toegerekend worden aan beweiding, toediening en verwerking. Maar ook in die methode vindt de emissie van methaan uit mest nog voor 94,5% plaats tijdens opslag. Mestvergisting grijpt aan op de beperking van de methaanemissie uit de opslag.

Berekeningsmethode voor reductie broeikasgasemissies

De bijdrage van mestvergisting aan de terugdringing van de uitstoot van broeikasgassen kunnen we verdelen in een directe en een indirecte bijdrage:

- De directe bijdrage wordt gevormd door de terugdringing van de methaanuitstoot. Bij mestvergisting wordt het methaan dat op natuurlijke wijze in dierlijke mest ontstaat door afbraak van organische stof, opgevangen en verbrand. Bij deze verbranding komt weliswaar CO₂ vrij, maar omdat methaan een grotere

broeikasgaswerking heeft als koolstofdioxide (1 kg CH₄ komt overeen met 21 kg CO₂) is het netto effect toch positief.

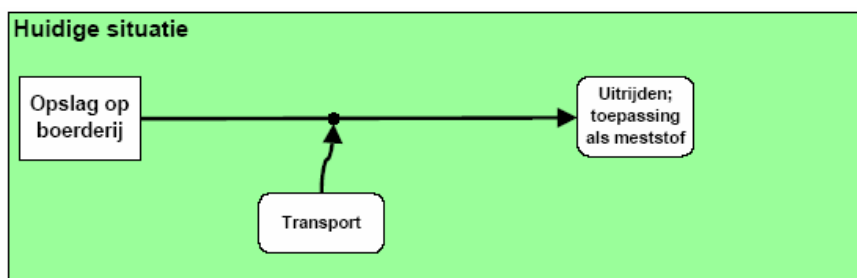
- De indirecte bijdrage wordt gevormd door vermindering van CO₂-uitstoot elders. Met de uit het methaan opgewekte elektriciteit wordt productie van CO₂ voor de opwekking van elektriciteit uit niet-duurzame bronnen voorkomen. Verder produceert de verbranding van methaan ook warmte. Deze warmte wordt aan de ene kant gebruikt voor het opwarmen en op temperatuur houden van de mest, maar het overschot kan daarnaast nuttig aangewend worden voor de verwarming van woonhuizen en/of bedrijfsruimten. Daarmee kan men elektriciteit en/of aardgas besparen. Ook deze indirecte bijdragen kan men op het conto van mestvergisting schrijven.

Andere effecten van mestvergisting op emissie van broeikasgassen zijn de uitstoot van lachgas en ammoniak tijdens de toediening van vergiste mest en de extra besparing van energie door daling van het kunstmestgebruik bij toepassing van vergiste mest als meststof.

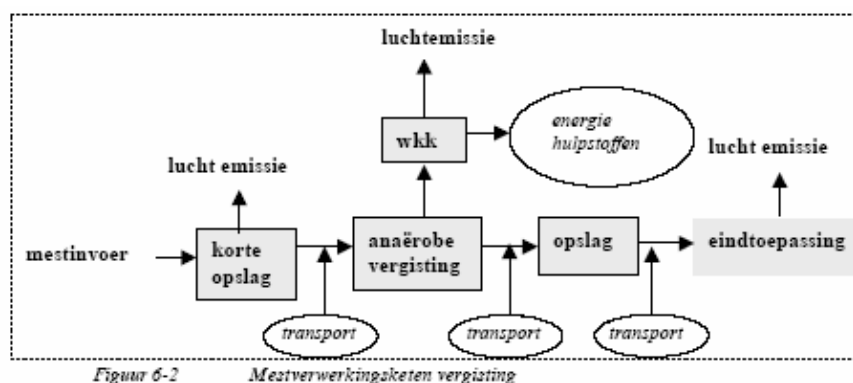
Voor de berekening van de emissiereductie is gebruik gemaakt van de TEWI methodiek (Total Equivalent Warming Impact), een gestandaardiseerde methode voor het berekenen van de emissiereductie van broeikasgassen over de levenscyclus van een project zoals die gehanteerd wordt binnen het Reductieplan Overige Broeikasgassen. Voor een aantal basistechnieken voor mestverwerking, waaronder vergisting, is deze methode verder uitgewerkt door Van Os, *et al.* (2003). Zij vergelijken de emissies van broeikasgassen bij een mestverwerkingstechniek (huidige situatie) met de emissies in de mestverwerkingsketen vóór toepassing van de techniek (referentiesituatie). Het emissie-reductie-potentieel (ERP) van een mestverwerkingstechniek wordt berekend als de emissie van de mestverwerkingstechniek minus de emissie van de referentiesituatie. De emissie berekent men de hand van emissiefactoren (EF) vermenigvuldigd met de hoeveelheid verwerkte mest.

Om deze berekening uit te voeren wordt de referentiesituatie en de huidige situatie opgedeeld in verschillende activiteiten met elk een bijbehorende emissiefactor. De verschillende activiteiten zijn opslag (zowel in de huidige situatie als in de referentiesituatie), transport (zowel in de huidige situatie als in de referentiesituatie), aanwending (zowel in de huidige situatie als in de referentiesituatie), proces (in de huidige situatie) en hulpstof (in de huidige situatie). De referentiesituatie is gedefinieerd als een vooropslag van onbewerkte mest gedurende 6 maanden gevolgd door transport en aanwending op het land. Voor een aantal basistechnieken zijn de emissiefactoren al berekend. Mestvergisting is één van deze technieken. In figuur 20 zijn de verschillende onderdelen van mestvergisting schematisch weergegeven.

Figuur 19 Schematisch weergave van referentiesituatie (Van Os *et al.*, 2003)



Figuur 20 Onderdelen basistechniek mestvergisting (Van Os *et al.*, 2003)



De emissiefactoren voor de verschillende onderdelen voor mest worden berekend aan de hand van omzettingcoëfficiënten en zijn daardoor afhankelijk van gebruikte mestsoort. De gebruikte mestsamenstelling voor de berekening van deze emissiefactoren is weergegeven in tabel 7. Bij een mengsel van meerdere mestsoorten dient men de samenstelling naar ratio te berekenen (Van Os, 2003). Op Praktijkcentrum Sterksel is een mengsel van vleesvarkenmest en zeugenmest vergist. Van de totale hoeveelheid vergiste mest bestond 64% uit vleesvarkensmest en 36% uit zeugenmest. De samenstelling van dit mengsel is in tabel 7 weergegeven als 'Drijfmest Sterksel'.

Tabel 7 Standaard mestsamenstelling in kg/ton

	DS	OS	BOS ¹	N-Totaal	N-Organisch	BON ²	N-Mineraal	P ₂ O ₅	K ₂ O	MgO	CaO	Na ₂ O
Drijfmest rundvee	87,7	63,9	19,2	5,5	2,5	0,8	3,0	1,4	4,6	0,90	1,6	0,64
Drijfmest vleesvarkens	85,8	56,7	28,4	9,0	3,9	1,9	5,1	5,0	5,3	1,7	3,8	1,15
Drijfmest zeugen	52,3	33,0	16,5	5,1	2,4	1,2	2,7	3,6	2,8	1,2	2,8	0,76
Drijfmest 'Sterksel'	73,7	48,2	24,1	7,6	3,4	1,6	4,2	4,5	4,4	1,5	3,4	1,01

¹ BOS: Biologisch afbreekbare organische stof

² BON: Biologisch afbreekbare organische stikstof

Behaalde reducties emissie van broeikasgassen op de praktijkcentra

In de tabellen 8 en 9 staan de uitkomsten van de emissieberekeningen. In bijlage 3 en 4 staan de volledige invulbladen met uitgangspunten en uitkomsten.

Tabel 8 Emissie in ton per jaar van de referentie en de huidige situatie voor Praktijkcentrum Nij Bosma Zathe

	Referentie				Mestvergisting			
	CH ₄	N ₂ O	CO ₂	Totaal	CH ₄	N ₂ O	CO ₂	Totaal
Opslag	5	0		98	0	0		7
Transport			0	0			0	0
Proces			0	0	0	0	0	3
Hulpstoffen			0	0			-7	-7
Aanwending		0		45		0	0	44
Totale emissie				143				47

Tabel 9 Emissie in ton per jaar van de referentie en de huidige situatie voor Praktijkcentrum Sterksel

	Referentie				Mestvergisting			
	CH ₄	N ₂ O	CO ₂	Totaal	CH ₄	N ₂ O	CO ₂	Totaal
Opslag	24	0		507	2	0		51
Transport			0	0			99	99
Proces			0	0	1	0	0	14
Hulpstoffen			0	0			-37	-37
Aanwending		1		254		1	0	250
Totale emissie				761				47

Het emissie-reductie-potentieel voor vergisting van een mengsel van vleesvarkensmest en zeugenmest is 385 kton CO₂-equivalenten. Dit is een reductie van 50,5% ten opzichte van de referentiesituatie. Het emissie-reductie-potentieel van vergisting van rundveedrijfmest is veel lager, namelijk 96 kton CO₂-equivalenten. Het reductiepercentage ten opzichte van de referentiesituatie is echter hoger, namelijk 60,9%. Het gezamenlijke emissie-reductie-potentieel bedraagt 481 kton CO₂-equivalenten. Het reductiepercentage bedraagt 53,2% ten opzichte van de referentiesituatie.

5 Economische evaluatie

Voor een melkvee- of varkenshouder is de keuze voor mestvergisting gebaseerd op economische argumenten. De investering in een installatie moet geld opleveren. De resultaten van het onderzoek geven inzicht in de opbrengsten aan gas, elektriciteit en warmte.

Maar de situatie op de beide praktijkcentra is wat betreft verbruik van elektriciteit en warmte afwijkend van een gemiddeld praktijkbedrijf door de aanwezigheid van extra onderzoeksapparatuur of verschillende vormen van huisvesting op één bedrijf. Daarnaast zijn ook de investeringen in de installatie niet representatief voor een gemiddeld bedrijf. Veelal kan gebruik gemaakt worden van subsidiestromen die niet toegankelijk zijn voor veehouders. Bij Nij Bosma Zathe is de installatie specifiek ingericht voor onderzoek. Op een gemiddeld melkveebedrijf moet men daarom andere keuzes maken. Het is dus niet zinvol om een economische berekening te maken voor de specifieke situatie van beide praktijkcentra. Daarom gebruiken we de resultaten van de praktijkcentra om het rendement van een mestvergistingsinstallatie op een melkvee- of varkensbedrijf van gelijke grootte als de praktijkcentra te berekenen. Voor de berekening is gebruik gemaakt van een berekeningsmodel ontwikkeld door Lent en Van Dooren (2001) en een berekeningsmodel ontwikkeld door HAS Den Bosch (2002). Omdat beide modellen echter gedateerd zijn, met name op gebied van vergoedingen voor elektriciteit en investeringen, is een aanvullend berekeningsmodel voor dit project opgesteld. In de berekening van de economische haalbaarheid van mestvergisting speelt de vergoeding voor de opgewekte elektriciteit een belangrijke rol.

MEP-vergoeding

De overheid stimuleert sinds 1 juli 2003 de opwekking van duurzame energie door het verstrekken van een subsidie op basis van de ministeriële regeling 'Milieukwaliteit van de ElektriciteitsProductie' oftewel de MEP-subsidie. De MEP-subsidie is een vast bedrag per kWh en bedoeld om de onrendabele top van duurzame elektriciteit ten opzichte van grijze elektriciteit te compenseren. De hoogte van de MEP-subsidie is afhankelijk van de productiemethode. De MEP-subsidie voor een mestvergistingsinstallatie (< 50 MW) bedraagt bij toekenning in de periode 1 juli 2004 t/m 31 december 2004 8,2 eurocent per kWh en in 2005 en het eerste halfjaar van 2006 9,7 eurocent per kWh. Het voorstel voor de hoogte van de MEP-subsidie in het tweede halfjaar van 2006 is 9,7 eurocent per kWh en voor 2007 9,7 eurocent per kWh. De MEP-subsidie kan voor een periode van maximaal 10 jaar worden verkregen.

Algemene uitgangspunten economische evaluatie

Er is gerekend met een rentepercentage van 2,25% op geleend kapitaal. In de berekening is uitgegaan van een dagelijkse arbeidsbehoefte van 15 minuten tegen een uurtarief van € 18,-. Om de MEP-subsidie te verkrijgen dient jaarlijks een accountant een verklaring af te geven dat de opgewekte elektriciteit afkomstig is uit duurzame bronnen. Daarvoor is een vaste kostenpost van € 1.500,- ingerekend.

De opbrengsten bestaan voornamelijk uit de vermeden aankoop van elektriciteit en de MEP-subsidie uit opgewekte duurzame energie. Voor de aankoop van elektriciteit tijdens piekuren is met een tarief van € 0,127 per kWh gerekend en voor de aankoop van stroom tijdens daluren met een tarief van € 0,077 per kWh. Voor de MEP-subsidie is uitgegaan van € 0,097 per kWh. Deze subsidie komt bovenop de vermeden aankoopkosten omdat op alle opgewekte duurzame energie subsidie wordt gegeven en niet, zoals in het verleden het geval was, alleen op de aan het net geleverde elektriciteit. Voor de aan het net geleverde elektriciteit komt daar nog een vergoeding van de elektriciteitsmaatschappij bovenop. Deze vergoeding is onderhandelbaar. In deze berekeningen is uitgegaan van een vergoeding van € 0,035 per kWh, zodat de totale vergoeding voor aan het net geleverde elektriciteit uitkomt op € 0,132 per kWh. Voor de berekening van de besparing op de inkoop van aardgas is uitgegaan van een aankoopprijs van € 0,38 per m³ aardgas.

Mestvergistinginstallatie op een varkensbedrijf

Als uitgangspunt nemen we een gesloten varkensbedrijf met 300 zeugen en 2400 vleesvarkens. Het gemiddeld elektriciteitsverbruik per jaar bedraagt 190 kWh per zeugenplaats en 36 kWh per vleesvarkenplaats, het gemiddeld gasverbruik per jaar bedraagt 90 m³ per zeugenplaats en 7 m³ per vleesvarkenplaats (Anonymous, 2003). Dit bedrijf verbruikt op jaarbasis gemiddeld 143.400 kWh aan elektriciteit en 43.800 m³ gas. De verdeling van het elektriciteitsverbruik over het hoog en laag tarief bedraagt ongeveer 70/30 (KWIN, 2004). De gemiddelde mestproductie is 5,0 m³ per zeug met een organische stofgehalte van 35 g/kg en 1,1 m³ per vleesvarkenplaats met een organische stofgehalte van 60 g/kg, waarbij de dichtheid van varkensmest 1,02 ton/m³ bedraagt. Dit leidt tot het volgende overzicht van uitgangspunten.

Tabel 10 Uitgangspunten van de economische berekening voor mestvergisting op een varkensbedrijf

Parameter	Waarde	Eenheid
Mestproductie per jaar	4.140	M ³ /jaar
Specifieke biogasopbrengst	0,45	m ³ /kg OS
Methaangehalte	60	%
Verblijftijd	40	Dagen
Elektrisch rendement WKK	32	%
Draaiuren WKK	8.030	Uren
Energieverbruik mestvergistinginstallatie	2,5	%
Besparing elektriciteitsinkoop	80	%
Besparing aardgasinkoop	25	%

Tabel 11 Economische evaluatie mestvergisting op een varkensbedrijf met 300 zeugen en 2400 vleesvarkens

Investering bruto (vergister, WKK, netaansluiting, bedrijfsaanpassingen)	€ 230.600,-
Jaarkosten	
Afschrijving (gemiddeld 8,72%)	€ 20.118,-
Rente (percentage 2,25%)	€ 7.731,-
Onderhoud (gemiddeld 3,35%)	€ 5.189,-
Arbeid	€ 1.643,-
Accountantsverklaring MEP-subsidie	€ 1.500,-
Totaal	€ 36.180,-
Jaaropbrengsten	
Elektra	€ 32.621,-
Warmte	€ 4.158,-
EIA-subsidie	€ 3.160,-
Totaal	€ 39.939,-
Saldo	€ 3.760,-
Terugverdientijd	9,7 jaar

Uit de economische evaluatie blijkt dat mestvergisting op een gesloten varkensbedrijf tot een kleine winst per jaar leidt, indien men gebruik kan maken van de EIA-subsidie. Dat geldt echter lang niet altijd voor varkenshouders. Wanneer men geen EIA-subsidie krijgt, dan verdwijnt bijna geheel de winst en loopt de terugverdientijd op tot 11,1 jaar.

Mestvergistinginstallatie op een melkveebedrijf

Voor de berekening van een melkveebedrijf is uitgegaan van een bedrijfsgrootte van 130 melkkoeien en bijbehorend jongvee op basis van een vervangingspercentage van 33%. Deze omvang is vergelijkbaar met die van Nij Bosma Zathe. Wat betreft de overige parameters is zoveel mogelijk aangesloten bij gemiddelde praktijkwaarden. De melkproductie van de koeien bedraagt 8.000 liter per jaar. Er is summerfeeding toegepast en ook het jongvee is jaarrond op stal. De mestproductie per jaar is per melkkoe 22,6 m³, per pink 11,4 m³ en per kalf 5,7 m³ met een organisch stofgehalte van 64 g/kg en een dichtheid van 1,005 ton/m³ (KWIN, 2004). Het gemiddeld elektriciteitsverbruik op een melkveebedrijf bedraagt 5,6 kWh per 100 kg melk wanneer we uitgaan van een conventioneel melksysteem (Lent en Dooren, 2001). Het totale elektriciteitsverbruik bedraagt 58.240 kWh. De verdeling van het elektriciteitsverbruik over het hoog en laag tarief bedraagt ongeveer 70/30. Hoewel men in principe alle elektriciteit kan inzetten op het eigen bedrijf, zal door storing of onderhoud toch nog elektriciteit uit het net afgenomen worden. In de berekeningen is uitgegaan van een besparing van 90% op de uit het net betrokken elektriciteit. Hetzelfde geldt voor de warmtebehoefte, maar daar is de besparing veel lager ingeschat, namelijk op 25%, omdat de warmtevraag niet geheel door de warmte uit de WKK gedekt kan worden. In tabel 12 zijn de uitgangspunten samengevat en in tabel 13 worden de resultaten van de berekeningen weergegeven.

Tabel 12 Uitgangspunten economische berekening voor mestvergisting op een melkveebedrijf

Parameter	Waarde	Eenheid
Mestproductie per jaar	3.808	m ³ /jaar
Specifieke biogasopbrengst	0,30	m ³ /kg OS
Methaangehalte	60	%
Verblijftijd	40	Dagen
Elektrisch rendement WKK	32	%
Draaitijd WKK per jaar	8.030	Uren
Energieverbruik mestvergistinginstallatie	2,5	%
Besparing elektriciteitsinkoop	90	%
Besparing aardgasinkoop	25	%

Tabel 13 Economische evaluatie mestvergisting op melkveebedrijf met 130 melkkoeien en jongvee

Posten		
Investering bruto (vergister, WKK, netaansluiting, bedrijfsaanpassingen)		€ 235.000
Jaarkosten		
Afschrijving	€ 20.023	
Rente	€ 7.736	
Onderhoud	€ 5.288	
Elektriciteit	€ 649	
Arbeid	€ 1.643	
Accountantsverklaring	€ 1.500	+
Totaal		€ 36.838
Jaaropbrengsten		
Elektra	€ 22.408	
Warmte	€ 524	
EIA-subsidie	€ 3.155	+
Totaal		€ 26.087
Saldo		€ -10.750
Terugverdiëntijd in jaren		25,3

Uit de economische evaluatie blijkt dat mestvergisting op een melkveebedrijf van deze omvang tot een aanzienlijk verlies per jaar leidt. Wanneer men geen EIA-subsidie krijgt, loopt het negatieve saldo nog verder op tot € 13.906,- en de terugverdiëntijd wordt dan 38,4 jaar.

De bruto investering is opgebouwd uit verschillende onderdelen (tabel 14). Bij de vergister is uitgegaan van de bouw van een nieuwe silo met een inhoud die aangepast is aan de te vergisten hoeveelheid materiaal. Wanneer op een bedrijf een silo aanwezig is die men geschikt kan maken voor vergisting zullen de investeringen dalen.

Tabel 14 Investerings- en gemiddeld afschrijvings- en onderhoudpercentage.

	Investering	Gemiddeld (%)	
		Afschrijving	Onderhoud
Voormengput	€ 19.400	10,6%	4,0%
Vergister (417 m ³)	€ 101.600	9,5%	4,0%
WKK (17 kWe)	€ 44.000	10,6%	4,4%
Co-vergisting	€ 0	7,5%	2,5%
Overige installaties	€ 70.000	9,7%	3,3%

Invloed bedrijfsparameters op economische evaluatie

Om een indruk te krijgen van het effect van andere bedrijfsparameters is op basis van het bedrijf met 130 koeien en een jaarlijkse melkproductie van 8000 kg per koe dat co-vergisting toepast een gevoeligheidsanalyse op beweidingssysteem, weidegang jongvee, MEP-subsidie, EIA subsidie en een automatisch melksysteem (AMS) gedaan. Als co-vergistingsmateriaal is, net als op Nij Bosma Zathe, snijmais gekozen. Dit gewas wordt op de meeste melkveehouderijbedrijven al geteeld voor veevoeding en verhandeld. Als uitgangspunt is een hoeveelheid van 1500 ton snijmais gekozen die jaarlijks wordt vergist. Deze mais moet men aankopen of zelf telen. In beide gevallen bedragen de kosten hiervoor ongeveer € 30,- per ton. In sommige gevallen is op het bedrijf voldoende ruimte beschikbaar voor de opslag van de mais en voldoende ruimte in de mestopslag om de volumestijging op te vangen; maar ook dan moet men voor een eerlijke vergelijking kosten hiervoor worden meegerekend. Op de bedrijven waar dit niet het geval is moet men daadwerkelijk investeren in de opslag van de mest en de mais. Uitgangspunten hierbij waren dat een kuilplaat voor de opslag van mais € 25,- per m² kost met een afschrijvingspercentage van 5,0% en een onderhoudspercentage van 1,5%. In de berekening is uitgegaan van een dagelijkse arbeidsbehoefte van 60 minuten tegen een uurtarief van € 18,-. Bij de mestopslag is gekozen voor de goedkoopste oplossing nl. een foliebassin dat € 25,- per m² aan investeringen vraagt met een afschrijvingspercentage van 10,0% en een onderhoudspercentage van 3,5%. In tabel 15 staat een overzicht van de uitgevoerde gevoeligheidsanalyse.

Tabel 15 Resultaten gevoeligheidsanalyse op basis van bedrijf met 130 koeien en een jaarproductie van 8000 kg melk per dier

Posten	Snijmais (€)	MEP € 0,078	Geen EIA (€)	AMS (€)	Jongvee buiten (€)	Onbeperkt weiden (€)	Beperkt weiden (€)
Investing bruto	442.421	442.421	442.421	442.421	435.921	425.421	435.621
Jaarkosten							
Afschrijving	37.335	37.335	37.335	37.335	36.860	36.177	36.845
Rente	14.444	14.444	14.444	14.444	14.232	13.917	14.224
Onderhoud	9.954	9.954	9.954	9.954	9.808	9.572	9.801
Snijmaiskosten	45.000	45.000	45.000	45.000	45.000	45.000	45.000
Arbeid	6.570	6.570	6.570	6.570	6.570	6.570	6.570
Accountantsverklaring	1.500	1.500	1.500	1.500	1.500	1.500	1.500
Totaal	114.804	114.804	114.804	114.804	113.970	112.736	113.941
Jaaropbrengsten							
Elektra	122.578	105.402	122.578	125.750	120.486	116.630	120.394
Warmte	524	524	524	524	524	524	524
EIA-subsidie	6.341	6.341	0	6.341	6.252	6.124	6.249
Totaal	129.443	112.267	123.103	132.615	127.262	123.278	127.168
Saldo	14.640	- 2.537	8.299	17.811	13.293	10.542	13.227
Terugverdiendtijd in jaren	8,5	12,7	9,7	8,0	8,7	9,1	8,7

Door co-vergisting van snijmais daalt de terugverdiendtijd naar minder dan 9 jaar. Het effect van een verlaging van de MEP-vergoeding is groot. In dat geval is mestvergisting voor dit bedrijf niet meer rendabel. Het mislopen van de EIA-subsidie zorgt voor aanzienlijke verlaging van het saldo. Als het bedrijf een automatisch melksysteem heeft dan is mestvergisting sneller rendabel. Dit komt door het hogere energieverbruik van een automatisch melksysteem. Dat ligt op 10,0 kWh per 100 kg melk. Door dit hogere verbruik is het aandeel uitgespaarde elektriciteitsaankoop groter. De vergoeding hiervoor is het hoogst omdat de MEP-vergoeding ook wordt uitgekeerd op duurzame opgewekt elektriciteit die men in het eigen bedrijf gebruikt. Wanneer men het jongvee buiten houdt tijdens de zomermaanden, komt minder mest beschikbaar voor vergisting. Hierdoor daalt het rendement. Datzelfde geldt voor de toepassing van andere beweidingssystemen als onbeperkt en beperkt weiden.

6 Discussie

Sterksel

In 2003 heeft het kunststof drijfzeil waaronder het gas werd opgevangen niet aan de verwachtingen voldaan. Er waren met name problemen om een goede gasdichte afdichting te krijgen tussen het zeil en het mestoppervlak. Begin 2004 is daarom besloten om het drijfzeil te vervangen door een gasmembraam waarmee een goede gasdichte verbinding is te maken tussen silorand en gasopslag onder het membraam. Dit probleem heeft echter de resultaten over 2003 nadelig beïnvloed. In oktober 2004 is namelijk een specifieke gasopbrengst van 0,45 m³ biogas per kilogram organische stof gerealiseerd, terwijl dit over 2003 gemiddeld 0,36 m³ biogas was.

Een ander punt is dat de aanvoer van mest vanuit de vermeerderingsstallen voor problemen zorgde door verstoppingen, omdat de afstand te ver was om te kunnen overbruggen met het aanwezige rioleringsysteem. Dit zorgde voor een onregelmatig toevoer van mest naar de vergister, dus een onregelmatig toevoer van voedingsstoffen naar bacteriën met als gevolg een onregelmatigere gasproductie en waarschijnlijk ook een lagere gasproductie dan het geval is bij een regelmatige toevoer. Daarentegen was de verblijftijd van de mest in de vergistingstank aan de ruime kant, waardoor de mest ook langere tijd had om te vergisten. Gedurende de looptijd is er mesofiel vergist bij een temperatuur 35-37 °C. Er is niet gevarieerd in temperatuur, omdat grotere schommelingen en/of te snelle aanpassing van de temperatuur negatief werken op het vergistingsproces.

Het elektriciteitsverbruik op Praktijkcentrum Sterksel ligt ver boven het verbruik van een vergelijkbaar varkensbedrijf in de praktijk. Dit komt doordat bij het bedrijf een kantoorgedeelte zit, onderzoeksinstallaties die niet standaard op een varkensbedrijf aanwezig zijn en door (ver)bouwwerkzaamheden. Indien een varkensbedrijf een gemiddeld elektriciteitsverbruik heeft van 190 kWh per zeugenplaats en 36 kWh per vleesvarkenplaats, dan is bij mestvergisting de geproduceerde hoeveelheid elektriciteit ongeveer even groot als het jaarverbruik van het bedrijf. Dit betekent echter niet dat er geen elektriciteit meer van het net afgenomen wordt, omdat de elektriciteitsproductie van WKK niet geheel aansluit bij het verbruikspatroon en bij storingen en onderhoud zal de WKK niet draaien.

De ontzwavelling van het biogas door toediening van een kleine hoeveelheid buitenlucht in de gasopslag op Praktijkcentrum Sterksel is een eenvoudig werkend systeem. Met een kleine compressor wordt een paar volumepercenten lucht ingeblazen waardoor de zwavelwaterstof reageert tot zwavel. De gemiddelde concentraties zwavelwaterstof in het biogas waren laag, maar desondanks zijn er ook uitschieters gemeten. Dit was mogelijk het gevolg van een tijdelijke hogere productie aan zwavelwaterstof, waar dit systeem van ontzwaveling moeilijker op kan reageren. Op basis hiervan is het moeilijk om een oordeel te vellen of dit ook leidt tot een snellere slijtage van de motor, maar het houdt wel in dat men bij meerdere overschrijdingen de motorolie sneller moet vervangen.

De economische haalbaarheid van mestvergisting op een varkensbedrijf hangt sterk samen met de hoeveelheid beschikbare mest, mestsamenstelling, het energieverbruik op het bedrijf en de netbeheerder van het regionale elektriciteitsnet. Grotere hoeveelheden beschikbare mest voor vergisting zorgen voor een schaafeffect. Zo zijn grotere WKK-installaties goedkoper in aanschaf en onderhoud per kW, wat dus tot lagere jaarkosten per opgewekte kWh leidt. Daarnaast hebben grotere WKK-installaties een hoger elektrisch rendement. Biogas wordt geproduceerd uit organische stof, waardoor uit mest met een hoog organische stofgehalte ook meer biogas is te halen dan uit mest met een laag organische stofgehalte. Daarnaast verschilt het energieverbruik tussen varkensbedrijven sterk (Wagenberg et al., 2001). Van invloed hierop is o.a. welke ventilatiesystemen en welke verwarmingssystemen voor biggen in het kraamhok worden toegepast. Aangezien ook MEP-subsidie wordt betaald over de opgewekte elektriciteit die men in het eigen bedrijf gebruikt, is de opbrengstprijis het hoogst bij eigen gebruik van de opgewekte elektriciteit. Dit komt doordat de besparing op kosten voor levering, netwerk en energiebelasting hoger is dan de vergoeding die kan worden verkregen voor levering van de opgewekte elektriciteit aan het net. De netwerkkosten voor de afgenomen elektriciteit verschillen per netwerkbeheerder. De hoogte van de besparing op deze kosten hangt dus af van de plek waar je varkensbedrijf ligt. Daarnaast zitten er grote verschillen tussen de vergoedingen die energiebedrijven willen betalen voor de geleverde elektriciteit aan het net. Het loont dus om bij meerdere afnemers te informeren naar de prijzen. Over het algemeen kunnen we zeggen dat de minimale ondergrens voor een mestvergistinginstallatie op een varkensbedrijf ligt bij een mestproductie van 4.000 m³ mest per jaar, maar voor een goed rendement moet er beduidend meer mest vergist worden.

Nij Bosma Zathe

Door het type loopvloer en de inrichting van het kelderplan op Nij Bosma Zathe bleek het met name in het begin van het project moeilijk om kwalitatief goede mest in de vergister te krijgen. De mest bleek een erg laag droge stofgehalte te hebben. Er vormden zich in de kelder stortkegels van de dikke fractie waardoor alleen de dunne fractie naar de vergister werd gepompt. Ondanks dat is de gasopbrengst per kilogram ingevoerd materiaal redelijk te noemen, dit is vooral te wijten door de toevoer van snijmais. Deze vorm van co-vergisting heeft goed gefunctioneerd.

Op Nij Bosma Zathe is gewerkt met een WKK van het Zündstrahltype. Hoewel dit type motor een aantal voordelen heeft, lijkt het binnen de huidige wetgeving niet mogelijk om een Zündstrahl vergunt te krijgen. Voor het realiseren van een mestvergistingsinstallatie is namelijk een (aanpassing van de) milieuvergunning nodig. In de milieuvergunning worden aan luchtverontreiniging eisen gesteld aan de rookgassen die vrijkomen bij de verbranding van biogas. Deze eisen zijn afkomstig uit het Besluit Emissie Eisen Stookinstallaties B (BEES B) en uit de Nederlandse Emissie Richtlijn Lucht (NeR). Mogelijke knelpunten hierbij zijn geïnventariseerd in een rapport van Witteveen en Bos in opdracht van NOVEM (Besselink *et al.*, 2003). Zij concluderen dat bij verbranding van biogas in een WKK ruim voldaan kan worden aan de eisen die in de NeR gesteld worden. Een knelpunt ontstaat mogelijk door de eisen die in de BEES B gesteld worden aan de emissie van NO_x. Voor een WKK met een asvermogen van 50 kW of minder, waarbij de brandstof voor meer dan 50% uit gas bestaat, geldt een maximale uitstoot van 800 g/GJ maal 1/30^{ste} van het motorrendement. Als het asvermogen meer is dan 50 kW, is de eis 140 g/GJ maal 1/30^{ste} van het motorrendement. De uitstoot wordt daarmee gerelateerd aan de warmte-inhoud van de brandstof. Hoewel geen informatie is gevonden over de relatie tussen NO_x-uitstoot en energie-inhoud van de brandstof wordt over het algemeen aangenomen dat een Zündstrahl motor niet kan voldoen aan BEES B.

De zwavelverwijdering van Nij Bosma Zathe is een eenvoudig en probleemloos werkend systeem. Met een kleine compressor wordt continue ongeveer 4 vol.-% lucht in het biogas gebracht, waardoor de zwavelwaterstof reageert tot pure zwavel. De gemiddelde concentraties in het biogas zijn dan ook voldoende laag. Toch zijn ook uitschieters gemeten. Door de relatief lage frequentie, eens per week, kunnen zich toch gedurende meerdere dagen te hoge concentraties voorgedaan hebben. Dit kan op lange termijn toch tot hogere slijtage in de WKK leiden. Op basis van deze ervaring is het moeilijk een afgewogen oordeel over deze manier van zwavelverwijdering te vellen. Andere chemische of biologische systemen voor zwavelverwijdering zijn waarschijnlijk betrouwbaarder maar ook aanzienlijk duurder. De verwachting is dat deze systemen pas bij grootschalige installaties rendabel zijn.

Op Nij Bosma Zathe is de hele looptijd van het project mesofiel vergist. Gestreefd is naar een temperatuur van 37 °C. Vooral in de wintermaanden bleek het niet altijd mogelijk deze temperatuur te handhaven. Door het uitschakelen van de waterpomp in het secundaire circuit naar de vergister wanneer de WKK niet loopt zal het makkelijker zijn deze temperatuur te handhaven.

De vergister op Nij Bosma Zathe is van het propstroomtype. Van dit type zijn er in Duitsland een groot aantal gebouwd. De keuze voor dit type kwam bij de bouw van Nij Bosma Zathe vooral voort uit de wens om vergelijkend onderzoek te doen. Het type propstroom heeft daarbij voordelen ten opzichte van een volledig geroerde vergister zoals op Praktijkcentrum Sterksel. Het type heeft echter geen invloed op de representativiteit van de gegevens afkomstig uit deze installatie.

7 Conclusies en aanbevelingen

Conclusies

Op Praktijkcentrum Sterksel viel de biogasproductie tegen doordat drijvende gasopslag niet goed bleek te functioneren en is daarom begin 2004 vervangen door een gasmembraamopslag. Ook bleek een regelmatige mesttoevoer niet goed mogelijk doordat de mestinfrastructuur niet optimaal was. Op Praktijkcentrum Nij Bosma Zathe bleek duidelijk dat dankzij de toevoeging van mais aan de mest er een voldoende biogasproductie per dag behaald kon worden ondanks dat in het begin het drogestofgehalte van de drijfmest lager dan gemiddeld was. Het elektrisch rendement bereikte waarden die we konden verwachten op basis van literatuur en ervaringen elders. Op beide bedrijven bleek om verschillende redenen een goede benutting van de geproduceerde warmte niet mogelijk. Dit wordt ondersteund door andere ervaringen uit de praktijk. We stellen vast dat het zondermeer meenemen van warmteopbrengsten in rendementsberekeningen niet verantwoord is. Ondanks een paar tegenslagen blijkt uit de resultaten dat mestvergisting een wezenlijk bijdrage kan leveren aan de directe reductie van methaanemissie uit mest en indirecte reductie van broeikasgassen door vermindering van elektriciteit uit niet-duurzame bronnen. Het economisch rendement van een mestvergistinginstallatie hangt sterk samen met de bedrijfsgrootte (mestproductie) en met het eigen elektriciteitsverbruik. Hoe hoger de mestproductie en het eigen verbruik, hoe sneller een mestvergistinginstallatie uit kan op een bedrijf. Dit wordt echter ook bepaald door bedrijfsspecifieke kenmerken, zoals netwerkbeheerder en toegepast beweidingssysteem. Duidelijk is wel dat bedrijven een omvang moeten hebben dat boven gemiddeld ligt om een mestvergistinginstallatie rendabel te krijgen.

Aanbevelingen

Bij de bouw van een vergistinginstallatie moet men goed rekening houden met een aantal zaken om tot een goed resultaat te kunnen komen.

- Een goede infrastructuur van mestkelders en -leidingen zorgt voor een eenvoudige, regelmatige toevoer van mest naar de vergister.
- Voorkomen van bevriezing van leidingen door toepassing van isolatie en/of toepassing van een verwarmingslint.
- De afstand van het verwarmingscircuit tot de WKK mag niet te groot zijn, vanwege leidingverliezen en de kans dat de CV-ketel onnodig extra water tot 70-90°C gaat verwarmen.
- De temperatuur van de CV-ketel instellen met een stooklijn, zodat een groter deel van het jaar de restwarmte van de vergistinginstallatie nuttig ingezet kan worden.
- De aansluiting van de WKK op het elektriciteitsnet kan afhankelijk waar het bedrijf zit, zorgen voor een forse investering en dus de kosten van de installatie.

Bijlagen

Bijlage 1 Demonstratie- en kennisoverdrachtactiviteiten en publicaties

Demonstratie- en kennisoverdrachtactiviteiten

- Verschillende keren is in de vakpers aandacht gegeven aan zowel de mestvergistinginstallatie op Nij Bosma Zathe als die op Sterksel.
- Door de Tip van de Week op de website van het Praktijkonderzoek is aandacht geschonken aan verschillende aspecten over mestvergisting.
- Op 17 oktober 2001 is op Nij Bosma Zathe een presentatie gegeven voor een delegatie van een plaatselijke Rabobank over de perspectieven van mestvergisting.
- Op 10 februari 2002 is op de Waiboerhoeve voor een groep rundveeadviseurs van Hendrix UTD een presentatie gegeven over het perspectief van mestvergisting.
- Op 25 februari 2002 is een presentatie gegeven voor de Stichting Natuurenergie Ooststellingwerf over de perspectieven van mestvergisting.
- Op 19 maart 2002 is op Nij Bosma Zathe een presentatie gegeven voor een delegatie van een plaatselijke Rabobank over de perspectieven van mestvergisting.
- In de standaard excursies wordt op de beide praktijkcentra aandacht besteed aan de mestvergistinginstallatie. Jaarlijks bezoeken ongeveer 2.000 bezoekers Nij Bosma Zathe en op Sterksel ongeveer 3.000 bezoekers.
- Op Praktijkcentrum Sterksel zijn twee open middagen georganiseerd over mestvergisting in samenwerking met Ecogas International B.V. en DLV Bouw, Milieu en Techniek.
- Op 18 en 19 juni 2003 zijn op Nij Bosma Zathe open dagen gehouden. Als onderdeel van deze dagen is een informatiemarkt mestvergisting ingericht. In totaal hebben ongeveer 2.500 mensen de Open Dagen bezocht.
- Naast de gebruikelijke excursies op Praktijkcentrum Sterksel, zijn in september 2003 Open Dagen georganiseerd ter gelegenheid van de volledige renovatie van Praktijkcentrum Sterksel. Deze dagen zijn geopend door minister Veerman. In totaal hebben ongeveer 5.500 mensen de Open Dagen bezocht. Tijdens deze dagen heeft ook de mestvergistinginstallatie volop in de belangstelling gestaan.
- Een groep van tien ambtenaren heeft de biogasinstallatie op Praktijkcentrum Sterksel bezocht, waarbij een toelichting is gegeven over de werking van de installatie en de stand van zaken over biogasinstallaties in Nederland.
- Posterpresentatie op het ROB-symposium 'Mestvergisting: winst voor boer en klimaat' op 25 november 2003 te Ede.
- Veel veehouders waren op afspraak op Nij Bosma Zathe voor een bezoek aan de mestvergistinginstallatie.
- Tijdens winterseizoen 2004 inleiding in Drenthe.
- Op 14 juli 2004 is voor een groep van 40 geïnteresseerde melkvee-, pluimvee- en varkensveehouders een studiemiddag gehouden over mestvergisting met aansluitend een bezoek aan de mestvergistinginstallatie.
- Op 2 oktober 2004 is op Nij Bosma Zathe in het kader van EU-projecten een open deurmiddag gehouden. Deze dagen zijn bezocht door ongeveer 350 bezoekers. Tijdens deze dag heeft ook de mestvergistinginstallatie volop in de belangstelling gestaan. Het viel op dat veel veehouders bezig waren met serieuze plannen voor het bouwen van een mestvergistinginstallatie.

Verschenen publicaties binnen het project:

- G. Biewenga en H.J.C. van Dooren, 2002, Mestvergisting op boerderijschaal, PraktijkKompas Rundvee 16 (3), pp. 22-23.
- M. Timmerman, M. Smolders, R. Melse, 2002, Mestvergisting de moeite waard om energie in te steken, PraktijkKompas Varkens februari 2002, p.3.
- G. Biewenga, M. Timmerman en H.J.C. van Dooren, 2002, Mestvergisting op boerderijschaal, PraktijkKompas Varkens 16 (4), pp. 24-25.
- M. Timmerman en M.A.H.H. Smolders, 2003, Mestvergisting op Praktijkcentrum Sterksel. PraktijkKompas Varkens 17 (4) pp.11.
- Verschillende keren is medewerking verleend aan journalisten die artikelen schreven over mestvergisting. Onder andere aan het boek "Bio-energie van eigen bodem".


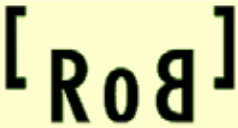

Bijlage 2 Geïnstalleerde meetapparatuur ten behoeve van het project

Om binnen dit NOVEM-project gegevens te kunnen verzamelen van de mestvergistinginstallaties op Praktijkcentrum Sterksel en Nij Bosma Zathe is de volgende meetapparatuur geïnstalleerd:

- Mestdoorstroommeter voor de bepaling van de ingaande hoeveelheid mest en co-product
- Gasdoorstroommeter tussen gasopslag en WKK voor bepaling van de verbruikte hoeveelheid biogas
- Methaanmeter voor bepaling van het methaangehalte in het biogas,
- Elektriciteitsmeter voor bepaling van de elektriciteitsproductie door de WKK en elektriciteitsverbruik van het bedrijf en mestvergistinginstallatie
- Warmtemeters voor bepaling van het warmteverbruik van de mestvergistinginstallatie en de hoeveelheid warmte die in het bedrijf is gebruikt

Alle meters waren aangesloten op een datalogstysteem zodat de gegevens automatisch vastgelegd werden. Daarnaast hebben medewerkers van de praktijkcentra een aantal gegevens handmatig vastgelegd, zoals het aantal draaiuren, verhouding diesel en biogas en het aantal opgewekte kWh aan elektriciteit.

Bijlage 3 Uitgangpunten en uitkomsten TEWI-berekeningen voor Nij Bosma Zathe

TEWI Berekening Overige Broeikasgassen, modelberekeningen voor agrariër en adviseur

Invoergegevens

Naam initiatiefnemer: **Introductiemestvergisting Nij Bosma Zathe**

1 Tot welke (sub)categorie kan het project gerekend worden? **Landbouw**

2 Wat zijn de belangrijkste niet-CO₂ broeikasgassen in het project?

2a Huidige situatie (voor implementatie van de maatregel)

2b Toekomstige situatie (na implementatie van de maatregel)

3 Selecteer het type maatregel

4a Wat is de levensduur van de maatregel in dit project? **10 jaar**

4b Wat is de gemiddelde levensduur van de maatregel indien de maatregel in andere projecten navolging zou vinden? **50 jaar**

5 Beschrijf de functionele eenheid

6 Herhalingspotentieel

6a Op hoeveel functionele eenheden heeft het project betrekking? **3.906 ton mest**

6b Hoeveel functionele eenheden zijn er thans in Nederland? **12272298 ton mest**

6c Hoeveel van deze functionele eenheden verwacht u in 2010? **12272298 ton mest**

6d Op hoeveel van deze functionele eenheden zou uw maatregel in 2010 kunnen worden toegepast? **12272298 ton mest**

Geef een eventuele toelichting:

Uitgangspunt is dat de hoeveelheid mest in 2010 gelijk is aan de huidige hoeveelheid. Hoewel het aantal veehouderijbedrijven afneemt wordt de productiecapaciteit waarschijnlijk overgenomen door de overblijvende bedrijven zodat het aantal dieren niet of nauwelijks afneemt en daarmee ook de mestproductie gelijk blijft. In theorie is het mogelijk dat alle mest vergist wordt. In de praktijk zal alleen dat gebeuren met dat deel dat economisch rendabel vergist kan worden.

Help en achtergronden

Landbouw	
CH ₄	N ₂ O
GMP: 21	310
GMP: 21	310

End of pipe

10 jaar

50 jaar

Aantal	Eenheid
1	ton mest

Aantal	Eenheid
3.906	ton mest
12272298	ton mest
12272298	ton mest
12272298	ton mest

Algemene gegevens

Doorzet: **3.906 ton/jaar**

Totale transportafstand: **100 km**

Mestsamenstelling:

	ds	h2o	os	bos	Ntot	ON	BON	Nmin
	7,4%	92,6%	4,8%	2,4%	0,8%	0,3%	0,2%	0,4%

Opslagtijd totaal: **194 dagen**

Algemene gegevens Referentiesituatie en Initiatief

Opslag

☐ Scheiden

☐ Stikstofverwijdering

☐ Composteren

☒ Vergisten

☐ Toevoegen/binden

☐ Verbranden

☐ Vergassen


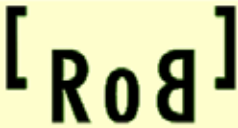

☐ Overig

☐ Eindtoepassing

Mestsoort	Doorzet
Drijfmest, Vleesvarkens	2.500 ton/jaar
Drijfmest, Zeugen	1.406 ton/jaar
Drijfmest, Vleesvarkens	0 ton/jaar
Drijfmest, Zeugen	0 ton/jaar
Drijfmest, Kippen	0 ton/jaar
Vaste mest, Kippen (%DS < 50)	0 ton/jaar
Vaste mest, Kippen (%DS > 50)	0 ton/jaar
Vaste mest, Vleeskuikens	0 ton/jaar
Andere mestsamenstelling	0 ton/jaar

Emissies in ton per jaar	Referentie				Initiatief			
	CH ₄	N ₂ O	CO ₂ -equivalenten	Totaal CO ₂ -equivalenten	CH ₄	N ₂ O	CO ₂ -equivalenten	Totaal CO ₂ -equivalenten
Opslag	24	0		507	2	0		51
Transport			0	0			99	99
Proces			0	0	1	0	0	14
Hulpstoffen			0	0			-37	-37
Aanwending		1		254		1	0	250
Totale emissie				761				377
	EmissieReductiePotentieel			385				
	ERP% van referentie			50,5%				

Bijlage 4 Uitgangpunten en uitkomsten TEWI-berekeningen voor Sterksel

TEWI Berekening Overige Broeikasgassen, modelberekeningen voor agrariër en adviseur

Invoergegevens

Naam initiatiefnemer: **Introductiemestvergisting Nij Bosma Zahte**

1 Tot welke (sub)categorie kan het project gerekend worden? **Landbouw**

2 Wat zijn de belangrijkste niet-CO₂ broeikasgassen in het project?

2a Huidige situatie (voor implementatie van de maatregel) **GMP: 21**

2b Toekomstige situatie (na implementatie van de maatregel) **GMP: 21**

3 Selecteer het type maatregel **End of pipe**

4a Wat is de levensduur van de maatregel in dit project? **10 jaar**

4b Wat is de gemiddelde levensduur van de maatregel indien de maatregel in andere projecten navolging zou vinden? **50 jaar**

5 Beschrijf de functionele eenheid

6 Herhalingspotentieel

6a Op hoeveel functionele eenheden heeft het project betrekking? **950 ton mest**

6b Hoeveel functionele eenheden zijn er thans in Nederland? **50066056 ton mest**

6c Hoeveel van deze functionele eenheden verwacht u in 2010? **50066056 ton mest**

6d Op hoeveel van deze functionele eenheden zou uw maatregel in 2010 kunnen worden toegepast? **50066056 ton mest**

Geef een eventuele toelichting:

Uitgangspunt is dat de hoeveelheid mest in 2010 gelijk is aan de huidige hoeveelheid. Hoewel het aantal veehoudersbedrijven afneemt wordt de productiecapaciteit waarschijnlijk overgenomen door de overblijvende bedrijven zodat het aantal dieren niet of nauwelijks afneemt en daarmee ook de mestproductie gelijk blijft. In theorie is het mogelijk dat alle mest vergist wordt. In de praktijk zal alleen dat gebeuren met dat deel dat economisch rendabel vergist kan worden.

Help en achtergronden

	CH ₄	N ₂ O
GMP:	21	310
GMP:	21	310

Algemene gegevens

Doorzet: **950 ton/jaar**

Totale transportafstand: **0 km**

Mestsamenstelling:

	ds	h ₂ O	os	bos	N _{tot}	ON	BON	N _{min}
	8,8%	91,2%	6,4%	1,9%	0,6%	0,3%	0,1%	0,3%

Opslagtijd totaal: **187 dagen**

☐ Algemene gegevens Referentiesituatie en Initiatief

☐ Opslag

☐ Scheiden

☐ Stikstofverwijdering

☐ Composteren

☒ Vergisten

☐ Toevoegen/binden

☐ Verbranden

☐ Vergassen

☐ Overig

☐ Eindtoepassing

Mestsoort

	Doorzet	
Drijfmest, Runderen	950	ton/jaar
Drijfmest, Kalveren	0	ton/jaar
Drijfmest, vleesvarkens	0	ton/jaar
Drijfmest, Zeugen	0	ton/jaar
Drijfmest, Kippen	0	ton/jaar
Vaste mest, Kippen (%DS<50)	0	ton/jaar
Vaste mest, Kippen (%DS>50)	0	ton/jaar
Vaste mest, Vleeskuikens	0	ton/jaar
Andere mestsamenstelling	0	ton/jaar
	0	ton/jaar

Emissies in ton per jaar	Referentie				Initiatief			
	CH ₄	N ₂ O	CO ₂ -equivalenten	Totaal CO ₂ -equivalenten	CH ₄	N ₂ O	CO ₂ -equivalenten	Totaal CO ₂ -equivalenten
Opslag	5	0		98	0	0		7
Transport			0	0			0	0
Proces			0	0	0	0	0	3
Hulpstoffen			0	0			-7	-7
Aanwending		0		45		0	0	44
Totale emissie				143				47
	EmissieReductiePotentieel			96				
	ERP% van referentie			66,9%				

Literatuur

Anonymous, 2003. Energiebesparing en duurzame energie op het varkensbedrijf. Praktijkonderzoek ASG, Lelystad. Leaflet.

Besselink, V.V., A.M. Schakel, A. van Kuijk, 2003, Emissie-eisen aan rookgassen bij het verbranden van biogas van mestvergisting, Witteveen+Bos.

Keymer, U., 2002. Wie rechnet sich Biogas? In: Top Agrar Fachbuch Biogas. blz. 40-45.

KWIN, 2004. Kwantitatieve Informatie Veehouderij 2004-2005. Praktijkonderzoek ASG, Lelystad.

Mol, R.M. de en M.A. Hilhorst, 2003. Methaan-, lachgas- en ammoniakemissie bij productie, opslag en transport van mest. IMAG, Wageningen. Rapport 2003-03.

Os, R.J.H.L. van, J.A.G. Frijns, E.H.M. van Zundert, A.J.F. Brinkman, H.J. Croeze, J.T.W. Vroonhof, R.W. Melse, A.H.M. Veeken, H.V.M. Hamelers, 2003, TEWI-benadering mestverwerking en -verwerking, Grondmij, De Bilt.

Spakman, J., M.M.J. van der Loon, R.J.K. van der Auweraert, D.J. Gielen, J.G.J. Olivier en E.A. Zonneveld, 1997. Methode voor de berekening van broeikasgasemissies. Ministerie van VROM, Den Haag. Publicatiereeks Emissieregistratie Nr. 37.

Lent, A.J.H., van en H.J.C. van Dooren, 2001. Perspectieven mestvergisting op Nederlandse melkvee- en varkensbedrijven. Rapport 194. Praktijkonderzoek Veehouderij, Lelystad.

Wagenberg, A.W., A.J.A. Aarnink en M. Timmerman, 2001. Haalbaarheidsstudie naar toepassing van warmtepompen in de varkenshouderij. Praktijkonderzoek ASG, Lelystad. Intern Rapport 471.

Wagenberg, A.W. en M. Timmerman, 2003. Realisatie mestvergistinginstallatie Praktijkcentrum Sterksel. Praktijkonderzoek ASG, Lelystad.